ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การเปลี่ยนรูปของสารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำเสียและตะกอนดินจากบ่อปรับเสถียรที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชน

Transformation of the Sulfur Compounds in Wastewater and Sediment Soil from Domestic Wastewater Stabilization Ponds

นามผู้วิจัย นายนิธิพงศ์ ใจตาบ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์คณิตา ตังคณานุรักษ์, วท.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปลี่ยนรูปของสารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำเสียและตะกอนดินจาก บ่อปรับเสถียรที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชน

Transformation of the Sulfur Compounds in Wastewater and Sediment Soil from Domestic Wastewater Stabilization Ponds

โดย

นายนิธิพงศ์ ใจตาบ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นิธิพงศ์ ใจตาบ 2557: การเปลี่ยนรูปของสารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำเสียและตะกอนดินจากบ่อปรับเสถียรที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์คณิตา ตังคณานุรักษ์, วท.ม. 136 หน้า

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ศึกษาการตรวจวัดความเข้มข้นของซัลเฟอร์ในรูปซัลเฟต (SO_4^{2-}) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน (HS^-) และซัลไฟด์ (S^{2-}) และปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟอร์ในระบบบ่อปรับเสถียรของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยเก็บตัวอย่างทั้ง 5 บ่อ ผลการศึกษาพบว่าระดับความลึกของน้ำทั้ง 3 ระดับ (0.300, 0.600 และ 0.800 เมตร) และฤดูกาล (ฤดูฝนและฤดูแล้ง) ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของซัลเฟอร์ทุกรูปแบบ โดยซัลเฟตไอออนไม่พบในบ่อที่ 1 ถึง บ่อที่ 4 ยกเว้น บ่อที่ 5 พบอยู่ในช่วง 1.542-1.841 มก./ล. ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆตั้งแต่บ่อที่ 1 (0.011 มก./ล.) ถึงบ่อที่ 5 (0.000 มก./ล.) เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาดีซัลเฟอเรชัน (Desulfuration) ของสารอินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบลดลงตั้งแต่บ่อที่ 1 ถึงบ่อที่ 5 ดังนั้นไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนและซัลไฟด์จึงเพิ่มขึ้นในบ่อที่ 1 ถึงบ่อที่ 4 และลดลงในบ่อที่ 5 เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือซัลไฟด์ไปเป็นซัลเฟต ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนและซัลไฟด์ของบ่อที่ 5 ในช่วงฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 0.061 และ 0.061 มก./ล. ตามลำดับ และช่วงฤดูร้อนมีค่าเท่ากับ 0.049 และ 0.049 มก./ล. ตามลำดับ โดยความเข้มข้นซัลไฟด์มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ (1.000 มก./ล.) นอกจากนั้น ปริมาณซัลเฟตและซัลไฟด์ในตะกอนดินของบ่อทั้ง 5 บ่อพบว่า ความเข้มข้นของซัลเฟตมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่บ่อที่ 1 (17.420 มก./กก.) ถึงบ่อที่ 4 (7.770 มก./กก.) และค่าสูงที่สุดในบ่อที่ 5 (25.370 มก./กก.) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณซัลเฟตในน้ำ ส่วนความเข้มข้นของซัลไฟด์ตั้งแต่บ่อที่ 1 ถึงบ่อที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 0.575-0.593 มก./กก. และค่าสูงที่สุดในบ่อที่ 5 (0.785 มก./กก.) ดังนั้นระบบบ่อปรับเสถียรสามารถบำบัดซัลเฟอร์จากน้ำเสียชุมชนโดยอาศัยปฏิกิริยาชีวธรณีเคมีของธาตุซัลเฟอร์

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Nithipong Jaitab 2014: Transformation of the Sulfur Compounds in Wastewater and Sediment Soil from Domestic Wastewater Stabilization Ponds. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Associate Professor Kanita Tungkananuruk, M.Sc. 136 pages.

Aim of this research is to determine the concentration of sulfur in form of sulfate (SO_4^{2-}), hydrogen sulfide (H_2S), hydrogen sulfide ion (HS^-) and sulfide (S^{2-}) and the factors influencing sulfur removal efficiency in wastewater stabilization ponds of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project. The samples were undertaken in five-pond series. The results revealed that the three depth level (0.300, 0.600 and 0.800 m) of water and season (rainy and summer) had no effect on the concentrations of all forms of sulfur. Sulfate ion was not found in the 1st pond to the 4th pond except in the 5th pond which was found in range 1.542-1.841 mg/L. The concentration tendency of H_2S decreased from the 1st pond (0.011 mg/L) to the 5th pond (0.000 mg/L) because the decreasing of desulfuration of organic sulfur from the 1st pond to the 5th pond. Consequently, the HS^- and S^{2-} could be simply increasing from the 1st pond to the 4th pond and droping in the 5th pond due to the oxidation of HS^- or S^{2-} to SO_4^{2-}. The HS^- and S^{2-} concentration in the 5th pond in rainy season were 0.061 and 0.061 mg/L respectively and in summer season were 0.049 and 0.049 mg/L respectively. The S^{2-} concentrations agreed with water quality standard control (1.000 mg/L). In addition, the amount of SO_4^{2-} and S^{2-} in sediment of 5 ponds were determined. It was found that the concentration of SO_4^{2-} tended to decrease orderly from the 1st pond (17.420 mg/kg) to the 4th pond (7.770 mg/kg) and get highest in the 5th pond (25.370 mg/kg) which corresponding to wastewater. In part of the S^{2-} concentration in the 1st to the 4th ponds in range of 0.575-0.593 mg/kg and get highest in the 5th pond (0.785 mg/kg) therefore, the stabilization pond could be used for sulfur treatment in municipal wastewater by reactions in sulfur biogeochemical cycle.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ คณิตา ตังคณานุรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ให้ความรู้ และสละเวลาในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์คณะสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและคำสั่งสอนแก่ผู้วิจัย เพื่อนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ต่อไปในอนาคต และขอขอบพระคุณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริที่ได้เอื้อสถานที่ อุปกรณ์และช่วยเหลือการเก็บตัวอย่างงานวิจัย รวมถึงขอขอบพระคุณคณะสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวที่ได้อบรมสั่งสอน ให้ความรู้ ให้กำลังใจและสนับสนุนการเรียนอย่างเต็มที่ จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นิธิพงศ์ ใจตาบ

ตุลาคม 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	61
อุปกรณ์	61
วิธีการ	63
ผลและวิจารณ์	76
สรุปและข้อเสนอแนะ	111
สรุป	111
ข้อเสนอแนะ	114
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	115
ภาคผนวก	124
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	136

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากแหล่งชุมชน	5
2	ลักษณะของน้ำเสียรวมจากแหล่งชุมชน	32
3	ปริมาณการใช้น้ำของครัวเรือนตัวอย่างในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี	32
4	ลักษณะน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ในช่วงเดือนเมษายน 2540 ถึงมีนาคม 2541	34
5	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่บ่อรวมน้ำเสีย บริเวณสถานีสูบน้ำเสียบ้านคลองยางในช่วงเดือนเมษายน 2540 – มีนาคม 2541	36
6	ไอโซโทปที่เสถียรของธาตุซัลเฟอร์	42
7	สารประกอบซัลเฟอร์ (สารรับอิเล็กตรอน) สำหรับแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต	54
8	Hydrogen Sulfide Factors	69
9	ลักษณะบ่อบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีในปัจจุบัน	76
10	คุณภาพน้ำเบื้องต้นของน้ำของระบบบ่อปรับเสถียรทั้ง 5 บ่อที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนในฤดูฝน	79
11	คุณภาพน้ำเบื้องต้นของน้ำของระบบบ่อปรับเสถียรทั้ง 5 บ่อที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนในฤดูแล้ง	80
12	ปริมาณซัลเฟตของตัวอย่างน้ำจากบ่อทั้ง 5 บ่อของระบบบ่อปรับเสถียรช่วงฤดูฝน	86
13	ปริมาณซัลเฟตของตัวอย่างน้ำจากบ่อทั้ง 5 บ่อของระบบบ่อปรับเสถียรช่วงฤดูแล้ง	87

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตและซัลไฟด์จากท่อระบายน้ำเสีย เทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี	89
15	ปริมาณซัลเฟอร์ของตัวอย่างน้ำจากบ่อทั้ง 5 บ่อของระบบบ่อปรับเสถียร ช่วงฤดูฝน	90
16	ปริมาณซัลเฟอร์ของตัวอย่างน้ำจากบ่อทั้ง 5 บ่อของระบบบ่อปรับเสถียร ช่วงฤดูแล้ง	92
17	ปริมาณซัลเฟตของตะกอนดินจากบ่อทั้ง 5 บ่อของระบบบ่อปรับเสถียร	105

ตารางผนวกที่

1	ปริมาณซัลไฟด์ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2556 (ฤดูฝน)	125
2	ปริมาณซัลไฟด์ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนกันยายน พ.ศ. 2556 (ฤดูฝน)	125
3	ปริมาณซัลไฟด์ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556 (ฤดูฝน)	126
4	ปริมาณซัลไฟด์ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนมกราคม พ.ศ. 2557 (ฤดูแล้ง)	126
5	ปริมาณซัลไฟด์ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 (ฤดูแล้ง)	127
6	ปริมาณซัลไฟด์ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนมีนาคม พ.ศ. 2557 (ฤดูแล้ง)	127
7	ปริมาณซัลเฟตและซัลไฟด์จากตะกอนดิน เดือนสิงหาคม และเดือนกันยายน พ.ศ. 2556 (ฤดูฝน)	128
8	ปริมาณซัลเฟตและซัลไฟด์จากตะกอนดิน เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556 (ฤดูฝน) และเดือนมกราคม พ.ศ. 2557 (ฤดูแล้ง)	128
9	ปริมาณซัลเฟตและซัลไฟด์จากตะกอนดิน เดือนกุมภาพันธ์ และเดือนมีนาคม พ.ศ. 2557 (ฤดูแล้ง)	129
10	ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์และไอออนไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2556 (ฤดูฝน)	130

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

11 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์และไอออนไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนกันยายน พ.ศ. 2556 (ฤดูฝน) 131

12 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์และไอออนไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556 (ฤดูฝน) 132

13 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์และไอออนไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนมกราคม พ.ศ. 2557 (ฤดูแล้ง) 133

14 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์และไอออนไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 (ฤดูแล้ง) 134

15 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์และไอออนไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนมีนาคม พ.ศ. 2557 (ฤดูแล้ง) 135

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	องค์ประกอบของน้ำเสียจากชุมชน	5
2	การแพร่กระจายของออกซิเจนในระดับความลึกต่างๆในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารสูง	19
3	การแพร่กระจายของออกซิเจนในระดับความลึกต่างๆในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารต่ำ	20
4	การแพร่กระจายของออกซิเจนในระดับความลึกต่างๆในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารปานกลางและอยู่ในเขตอบอุ่น	20
5	BOD curve รวมระหว่าง Carbonaceous และ Nitrification	21
6	ปฏิกิริยาการย่อยสลายอินทรีย์และความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันระหว่างแบคทีเรียและสาหร่าย	27
7	การเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีในบ่อไร้อากาศ	28
8	ปฏิกิริยาชีวเคมีในบ่อกึ่งไร้อากาศ	30
9	ชั้นของหน้าดินตัดพื้นบ่อ	40
10	การเคลื่อนที่ของน้ำและมวลสารต่างๆภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ	40
11	การเคลื่อนที่ของสารบริเวณระหว่างชั้นดินและน้ำในบ่อที่พื้นผิวบ่อมีออกซิเจน	41
12	การเคลื่อนที่ของสารบริเวณระหว่างชั้นดินและน้ำในบ่อที่พื้นผิวบ่อที่ขาดออกซิเจน	41
13	วัฏจักรซัลเฟอร์	46
14	การเกิด H_2S และ “Crown” corrosion ในท่อน้ำโสโครก	48
15	ผลของพีเอชต่อสมดุลของ H_2S และ S^2	49
16	ตัวอย่างภาพขยายของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต	55
17	ขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์	58
18	การสกัดตะกอนดิน	65

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	การวิเคราะห์ซัลเฟตโดยเครื่องโพเทนชิโอมิเตอร์กับขั้วไฟฟ้าจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์แบบรวม	67
20	สัดส่วนของ H_2S และ HS^- ในซัลไฟด์ส่วนที่ละลาย	70
21	ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ	72
22	ผังจุดเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนดินในบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 5 บ่อ	74
23	การเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 3 ระดับน้ำ คือ ระดับผิวน้ำ ระดับกลางน้ำและระดับพื้นท้องน้ำ	74
24	รูปแบบของระบบบ่อปรับเสถียรและการไหลของน้ำเสียในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย	77
25	ลักษณะบ่อบำบัดน้ำเสียและลักษณะการไหลของน้ำเสียในระบบรวบรวมและระบบบ่อปรับเสถียร	77
26	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ (ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำได้, บีโอดีและซีโอดี) ในบ่อบำบัดน้ำเสีย ช่วงฤดูฝน	83
27	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ (ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำได้, บีโอดีและซีโอดี) ในบ่อบำบัดน้ำเสีย ช่วงฤดูแล้ง	83
28	กราฟมาตรฐานซัลเฟต	84
29	กราฟมาตรฐานซัลไฟด์	85
30	ปริมาณซัลไฟด์ในตัวอย่างน้ำของบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียรในช่วงฤดูฝน	95
31	ปริมาณซัลไฟด์ในน้ำตัวอย่างน้ำของบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียรในช่วงฤดูแล้ง	96
32	ปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยในตัวอย่างน้ำจากระบบบ่อปรับเสถียรทั้ง 5 บ่อในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง	97
33	ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในตัวอย่างน้ำของบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียร ในช่วงฤดูฝน	98

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
34	ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในตัวอย่างน้ำของบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียร ในช่วงฤดูแล้ง	98
35	ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยในตัวอย่างน้ำจากระบบบ่อปรับเสถียรทั้ง 5 บ่อ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง	100
36	ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนในตัวอย่างน้ำของบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียร ในช่วงฤดูฝน	102
37	ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนในตัวอย่างน้ำของบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียร ในช่วงฤดูแล้ง	103
38	ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนเฉลี่ยในตัวอย่างน้ำจากระบบบ่อปรับเสถียรทั้ง 5 บ่อ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง	104
39	ปริมาณซัลเฟตของตะกอนดินในบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียร ในช่วงฤดูฝน	106
40	ปริมาณซัลเฟตของตะกอนดินในบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียร ในช่วงฤดูแล้ง	107
41	ปริมาณซัลเฟตเฉลี่ยของตะกอนดินในบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียร ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง	107
42	ปริมาณซัลไฟด์ของตะกอนดินในบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียร ในช่วงฤดูฝน	109
43	ปริมาณซัลไฟด์ของตะกอนดินในบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียร ในช่วงฤดูแล้ง	109
44	ปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยของตะกอนดินในบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียร ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง	110

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเปลี่ยนรูปของสารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำเสียและตะกอนดินจากบ่อปรับเสถียรที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชน

Transformation of the Sulfur Compounds in Wastewater and Sediment Soil from Domestic Wastewater Stabilization Ponds

คำนำ

ซัลเฟต (หรือสารประกอบซัลเฟต) มักพบในน้ำผิวดินทั่วไปและในบ่อ ซัลเฟอร์ที่เกิดขึ้นในบ่อมีสาเหตุจากการย่อยสลายพืชน้ำ ดิน และหินของแบคทีเรียชนิด Sulfur-Reducing Bacteria (SRB) จะเปลี่ยนซัลเฟตให้เป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีกลิ่นคล้ายไข่เน่า ในความเป็นจริงไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายแต่อย่างใด แต่ทั้งรสและกลิ่นนั้นทำให้เกิดความรำคาญ แหล่งของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แหล่งอื่น ๆ ได้แก่ ขยะ โดยกลิ่นจะชัดเจนและรุนแรงมากขึ้นถ้ามีความชื้น และถ้ามีซัลเฟตปนเปื้อนในน้ำมากกว่า 250 ppm เมื่อบริโภคเข้าไปจะส่งผลให้ท้องเสียได้

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริได้ดำเนินโครงการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย โดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียจะเริ่มต้นจากการรวบรวมน้ำเสียที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีมาเก็บกักไว้ในบ่อรวบรวมน้ำเสียบ้านคลองยาง ซึ่งทำหน้าที่เป็นบ่อตกตะกอนขั้นต้น ดักกรวด-ทราย จากนั้นจะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง ซึ่งประกอบด้วยบ่อดินขนาดใหญ่ จำนวน 5 บ่อ เรียงต่อกันเป็นอนุกรม

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาปริมาณซัลเฟอร์ในตัวอย่างน้ำและดินตะกอนของบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 5 บ่อ ว่ามีการเปลี่ยนแปลงธาตุซัลเฟอร์ตามวัฏจักรชีวธรณีเคมีของธาตุซัลเฟอร์ในแต่ละบ่อเป็นอย่างไร รวมทั้งศึกษาปัจจัยที่มีผล เช่นฤดูกาลและความลึกของระดับน้ำว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดหรือไม่ เพื่อที่จะคาดเดาการเกิดกลิ่นเหม็นเน่าของน้ำจากธาตุซัลเฟอร์ได้ พร้อมทั้งสามารถนำข้อมูลไปจัดการและปรับปรุงระบบบ่อบำบัดน้ำเสียให้เกิดความสมบูรณ์ต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณซัลเฟอร์ในรูปซัลเฟต, ซัลไฟด์, ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน ในตัวอย่างน้ำจากระบบบ่อบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

2. เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณซัลเฟอร์ในรูปซัลเฟต และซัลไฟด์ ในตะกอนดินจากระบบบ่อบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

3. เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่อาจมีผล (ฤดูกาลและความลึกของระดับน้ำ) และประสิทธิภาพบ่อบำบัดน้ำเสียที่อาศัยกระบวนการทางธรรมชาติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. น้ำเสีย

1.1 ความหมาย

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ได้ให้คำจำกัดความของคำว่า น้ำเสีย หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมีมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น พัฒนา (2546) ก็ยังได้ให้คำจำกัดความของคำว่า น้ำเสีย หมายถึง ของเหลวหรือน้ำที่ผ่านการใช้งานมาแล้วจากบ้านเรือน การประกอบธุรกิจการค้า การทำงานในสถานที่ต่างๆ การเกษตรหรือโรงงานอุตสาหกรรม น้ำเสียจึงมักมีสิ่งสกปรกต่างๆ ปนเปื้อนมาทั้งในรูปแขวนลอยหรือละลายอยู่ในน้ำ ความสกปรกหรือความไม่น่าใช้จึงมีมากกว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติ ลักษณะน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับชนิด จำนวน และรูปแบบของของเสียในน้ำนั้นๆ

กรมควบคุมมลพิษ (2537) กล่าวว่า น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ผ่านการนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ เช่น ครัวเรือน โรงงานอุตสาหกรรม การเกษตร และกสิกรรม น้ำเสียจึงมีส่วนประกอบต่างๆ ที่มาจากกิจกรรมซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของน้ำเสีย สิ่งที่อยู่ในน้ำเสียจะเป็นสารต่างๆที่มาจากวัตถุดิบและผลิตผลที่เกิดขึ้น

น้ำเสียจากแหล่งชุมชน คือ น้ำที่ถูกใช้แล้วจากแหล่งชุมชนต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของสารอนินทรีย์สารอินทรีย์ต่างๆในรูปของขนาดใหญ่ ขนาดเล็กและขนาดเล็กมากจนไม่สามารถมองดูด้วยตาเปล่า และยังมีสิ่งมีชีวิตเล็กมากอาศัยปะปนอยู่ด้วย (เกรียงศักดิ์, 2552)

1.2 ประเภทของน้ำเสีย

ประเภทน้ำเสีย สามารถจำแนกตามแหล่งกำเนิดได้ดังนี้

1.2.1 น้ำเสียชุมชน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้ำเสียชุมชน หมายถึง น้ำที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ และระบายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งรองรับน้ำเสีย หรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ได้ผ่านการบำบัดให้มีลักษณะดีขึ้นหรือสะอาดขึ้นก่อน ซึ่งทำให้แหล่งน้ำมีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมและเน่าเสียในที่สุด กิจกรรมที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ก่อให้เกิดน้ำเสียชุมชน ได้แก่ บ้านพักอาศัย ภัตตาคาร โรงแรม และจากกิจกรรมอื่นๆ เช่น สถานบริการ อาคารพาณิชย์ โรงเรียน อาคารชุด ตลาด เป็นต้น (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

1.2.2 น้ำเสียจากการเกษตรกรรม

น้ำเสียเกษตรกรรม เป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการประกอบกิจกรรมทางการเกษตรที่รวมถึงการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ได้แก่ น้ำเสียจากการทำความสะอาดคอกเลี้ยงสัตว์จำพวกสุกร น้ำเสียจากการเลี้ยงปลาหรือกุ้ง และการทำนาข้าว เป็นต้น โดยน้ำเสียจากการเกษตรส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ ซึ่งรวมถึงสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ง่ายในธรรมชาติ เช่น กลุ่มสารกำจัดศัตรูพืช และยาปฏิชีวนะ เป็นต้น และสารอนินทรีย์ เช่น แอมโมเนีย และธาตุอาหารต่างๆ เป็นต้น (สุเทพ, 2549)

1.2.3 น้ำเสียอุตสาหกรรม

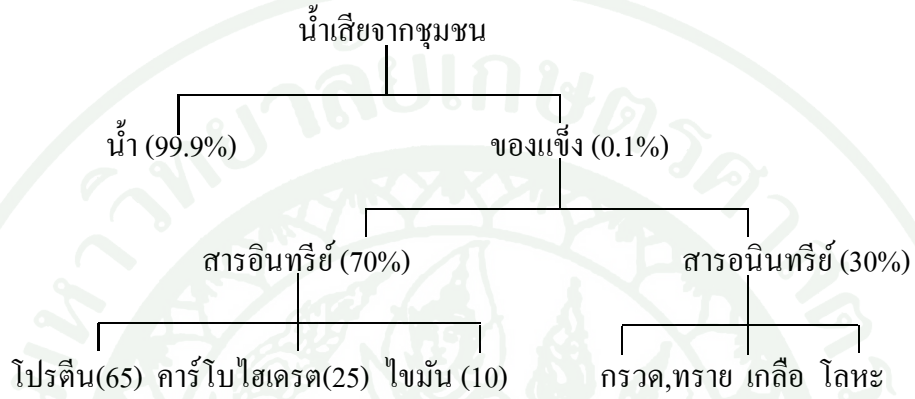
น้ำเสียอุตสาหกรรมจะเป็นน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสิ่งสกปรกที่แตกต่างกันและปริมาณของสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนก็แตกต่างกันด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม วัตถุดิบที่ใช้ตลอดจนขบวนการผลิตที่ใช้ โดยสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนอาจเป็นสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ก็ได้ น้ำเสียอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เกิดจากขบวนการล้างวัตถุดิบ การล้างเครื่องจักรอุปกรณ์ การระบายความร้อน รวมทั้งกิจกรรมต่างๆของพนักงานในโรงงาน เป็นต้น (สันทัด, 2552)

2. องค์ประกอบของน้ำเสียจากชุมชน

ประโยชน์ต่างๆที่เกี่ยวกับองค์ประกอบของน้ำเสียจากชุมชน เช่น ทำให้สามารถคาดคะเนผลกระทบที่อาจเกิดต่อสิ่งแวดล้อมได้ ช่วยให้สามารถออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียได้อย่างถูกต้อง และการพิจารณาอนุญาตตั้งโรงงานอุตสาหกรรมว่ามีความเหมาะสมที่จะตั้งในแหล่งชุมชนหรือไม่ น้ำเสียจากแหล่งชุมชนจัดว่ามีองค์ประกอบค่อนข้างคงที่ ส่วนน้ำเสียเทศบาลและน้ำเสียรวมจะมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ไม่คงที่ องค์ประกอบของน้ำเสียจากชุมชน แสดงดังภาพที่ 1 เป็นตัวอย่างของต่างประเทศ ในประเทศไทยค่าอัตราส่วนอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ ส่วนใหญ่จะจัดอยู่ในระดับน้ำเสียที่มีความสกปรกน้อยถึงปานกลาง ซึ่งลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากชุมชนแสดงได้ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 องค์ประกอบของน้ำเสียจากชุมชน

ตารางที่ 1 ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากแหล่งชุมชน

สิ่งปนเปื้อน	หน่วย	ความเข้มข้นเฉลี่ย		
		สกปรกน้อย	สกปรกปานกลาง	สกปรกมาก
<u>ทางกายภาพ</u>				
ของแข็งทั้งหมด	mg/l	350	720	1200
ของแข็งแขวนลอย	mg/l	100	220	350
ของแข็งที่จมตัวได้	mg/l	5	10	20
<u>ทางเคมี</u>				
BOD	mg/l	110	220	400
COD	mg/l	250	500	1000
ไนโตรเจน (total as N)	mg/l	20	40	85
- อินทรีย์	mg/l	8	15	35
- แอมโมเนีย	mg/l	12	25	50
ฟอสฟอรัส (total as P)	mg/l	4	8	15

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 (ต่อ)

สิ่งปนเปื้อน	หน่วย	ความเข้มข้นเฉลี่ย		
		สกปรกน้อย	สกปรกกลาง	สกปรกมาก
- อินทรีย์	mg/l	1	3	5
- อนินทรีย์	mg/l	30	5	10
น้ำมันและไขมัน	mg/l	50	100	150
<u>ทางชีวภาพ</u>				
Total Coliform bacteria	MPN/100ml	10^6-10^7	10^7-10^8	10^7-10^9
Fecal Coliform bacteria	MPN/100ml	10^4-10^5	-	-

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2545)

3. สารอินทรีย์ในน้ำเสียชุมชน

3.1 สารอินทรีย์ในน้ำเสียชุมชน

สารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียชุมชน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เป็นต้น มีทั้งชนิดที่ไม่สามารถหรือยากแก่การย่อยสลายโดยปฏิกิริยาทางชีวเคมีและชนิดที่สามารถหรือง่ายต่อการย่อยสลายโดยปฏิกิริยาทางชีวเคมี Hammer (1989) ได้จำแนกประเภทของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในน้ำเสียชุมชนออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) คาร์โบไฮเดรต น้ำเสียจะมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 25-50 ได้แก่ น้ำตาล แป้ง ซึ่งจะมีมากในข้าวโพด มันฝรั่ง และเซลลูโลส ซึ่งจะพบได้ในเยื่อไม้ ฝ้าย กระดาษ เนื้อเยื่อของพืช และเซลลูโลส เป็นต้น จะสลายตัวได้ช้ากว่าแป้ง ส่วนน้ำตาลเมื่อละลายน้ำแล้วจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้เป็นแอลกอฮอล์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

2) โปรตีน น้ำเสียจะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 40-60 พบได้ในอาหารพวกเนื้อสัตว์ นอกจากนี้มักพบยูเรียเป็นสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำเสียเสมอ ทั้งโปรตีนและยูเรียจะถูกย่อยสลายเป็นสารประกอบไนเตรท แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3) ไขมัน เป็นส่วนที่ละลายน้ำได้น้อยมากและจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ในอัตราที่ช้ามาก ไขมันเป็นสารประกอบเอสเทอร์ของแอลกอฮอล์หรือกลีเซอรอลกับกรดไขมัน ในน้ำเสียจะมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 10

สรุปว่าส่วนประกอบที่สำคัญของสารอินทรีย์ในน้ำเสียชุมชน คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และน้ำมัน พวกคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนจะถูกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ส่วนพวกไขมันและน้ำมันซึ่งมีความเสถียรภาพมากกว่าจะถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ช้ากว่าเป็นอย่างมาก นอกจากนี้น้ำเสียชุมชนอาจประกอบด้วยส่วนน้อยของผงซักฟอกที่จะไม่สามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย

3.2 การย่อยสลายสารอินทรีย์

นภาวรรณ (2535) อธิบายถึงการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ว่าสามารถแบ่งได้ 2 วิธี ดังนี้

1) การย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน หากมีการเติมก๊าซออกซิเจนให้แก่น้ำเสีย ลักษณะการย่อยสลายสรุปได้ดังนี้

(1) จุลินทรีย์จะปรับตัวให้เข้ากับสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ที่จะ predominate จะเปลี่ยนไปเรื่อยๆขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรียที่มีอยู่มาก

(2) อัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของธาตุอาหารอย่างอื่นที่มีอยู่ด้วย เช่น สัดส่วนของคาร์บอน (C) ต่อไนโตรเจน (N) ต่อฟอสฟอรัส (P) หากสัดส่วนของธาตุอาหารทั้งสามนี้ใกล้เคียงกับสัดส่วนในเซลล์แบคทีเรียซึ่งมีค่าประมาณ 100:10:1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

(3) การย่อยสลายสารอินทรีย์จะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าธาตุอาหารที่จำเป็นเริ่มขาดแคลน เช่น ธาตุไนโตรเจน การย่อยสลายจะหยุดเมื่อจุลินทรีย์ใช้คาร์บอนจนอัตราส่วนของ C:N มีค่าใกล้เคียง 10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปฏิกิริยาชีวเคมีในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนจะได้ผลของปฏิกิริยา คือ สารอินทรีย์จะมีขนาดที่เล็กลงแต่ได้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น และได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ (H_2O) และธาตุอาหาร เช่น ไนเตรทและฟอสเฟต รวมทั้งได้พลังงานเพิ่ม ดังสมการที่ (1) หรือสมการที่ (2)

$$\text{สารอินทรีย์} + \text{จุลินทรีย์} \xrightarrow{\text{ออกซิเจน}} \text{จุลินทรีย์ขยายพันธุ์} + CO_2 + H_2O + \text{พลังงาน} + \text{สารอื่นๆ} \qquad (1)$$

$$CHONS + O_2 + \text{สารอาหาร} \xrightarrow{\text{แบคทีเรีย}} C_5H_7O_2N + CO_2 + H_2O + \text{พลังงาน} + NH_3 + SO_4^{2-} \qquad (2)$$

2) การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การเกิด aerobic decomposition จะเป็นไประยะหนึ่งซึ่งจะทำให้ปริมาณออกซิเจนลดน้อยลงและถ้าสารอินทรีย์ย่อยสลายง่ายยังคงมีสูง ปริมาณออกซิเจนจะลดลงจนหมดทำให้กลายสภาพเป็น anaerobic decomposition ซึ่งทำให้แบคทีเรียกลุ่ม anaerobes สามารถใช้คาร์โบไฮเดรตในน้ำเสียเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน ส่วนโปรตีนนั้นแบคทีเรียนำไปใช้ในการเพิ่มจำนวน และใช้ Fe^{3+}, Mn^{4+}, NO^{3-} และ SO_4^{2-} เป็นต้น เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาการย่อยสลายแทนออกซิเจนในสภาวะ anaerobic (ทัศนีย์, 2543) และอัตราการย่อยสลายจะไม่สมบูรณ์และเป็นไปอย่างช้า ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน (มงคล, 2531) ดังนี้

(1) การย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ โดยสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ที่ไม่สามารถละลายน้ำได้นั้น แบคทีเรียจะไม่สามารถใช้ได้ทันที จึงเกิดขบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) โดยแบคทีเรียจะปล่อยเอนไซม์ชนิดหนึ่งที่เรียกว่า extracellular enzyme ออกมาเพื่อย่อยให้โมเลกุลใหญ่ของสารอินทรีย์แตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ จึงทำให้ละลายน้ำได้และแบคทีเรียจะนำไปใช้โดยผ่านผนังเซลล์เข้าไปเพื่อย่อยสลายได้

(2) การสร้างกรดอินทรีย์ ในขั้นนี้แบคทีเรียประเภทสร้างกรดอินทรีย์ (acid former) จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปสารละลายให้อยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ประเภทระเหยง่าย ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดอะซีติก (acetic acid) กรดโพรไพโอนิค (propionic acid) และกรดบิวทิวริค (butyric acid) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และก๊าซมีเทน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(CH_4) ปริมาณเล็กน้อยอีกด้วย ซึ่งกรดอินทรีย์และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเป็นปัญหาทำให้เกิดกลิ่นและมีผลทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง

(3) การสร้างมีเทน ขั้นตอนนี้แบคทีเรียประเภทสร้างมีเทนจะย่อยสลายกรดอินทรีย์ให้อยู่ในรูปของแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียทั้งสองประเภทดังกล่าวจะทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนของเซลล์แบคทีเรียเหล่านั้นจากการสร้างเซลล์ใหม่ด้วย สุบัณฑิต (2548) อธิบายไว้ว่า แบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนจะเป็นแบคทีเรียกลุ่มอาร์เคียที่มีอัตราการเจริญช้ามากและยังเป็นแบคทีเรียที่สามารถใช้สารตั้งต้นเพียงบางชนิดคือ สารที่มีคาร์บอนเพียง 1 หรือ 2 คาร์บอนเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น เมทานอล กรดฟอร์มิก กรดแอซีติก รวมทั้งแก๊สไฮโดรเจน ส่วนกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม แบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทนไม่สามารถที่จะใช้เป็นสารตั้งต้นในการเปลี่ยนให้เป็นแก๊สมีเทนได้ ดังนั้นแบคทีเรียกลุ่มนี้จึงต้องอาศัยแบคทีเรียชนิดอื่นๆ ที่เปลี่ยนกรดอินทรีย์ต่างๆ ให้เป็นกรดแอซีติกหรือแก๊สไฮโดรเจนก่อนที่แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจะสามารถย่อยสลายต่อได้

นอกจากนั้นแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างแก๊สมีเทนยังเป็นแบคทีเรียที่ไวต่อสภาวะแวดล้อมอย่างมาก เช่น ไม่อาจทนต่อแก๊สออกซิเจนแม้มีปริมาณของแก๊สออกซิเจนเพียงเล็กน้อยหรือไม่อาจเจริญได้ดีเมื่ออยู่ในค่าความเป็นกรดเป็นด่างนอกเหนือจากช่วง 6.8-9.2 เป็นต้น

การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะได้กรดอินทรีย์ และแอลกอฮอล์ (alcohol) ซึ่งกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดแลคติก กรดอะซีติก แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เป็นต้น ดังแสดงในสมการที่ (3)

สารอินทรีย์ + แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน $\longrightarrow$ กรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ $\longrightarrow$ $CO_2 + H_2S + NH_3 + CH_4 + H_2O$ (3)

3.3 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการย่อยสลาย

วีรานุช (2551) ได้อธิบายว่า มีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อกิจกรรมและการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อม ปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลมากต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ก็คือ สารอินทรีย์ ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์ พวกที่ได้สารอาหารจากสารอินทรีย์ (Heterotrophic Microorganisms)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผิวดินซึ่งค่อนข้างมีสารอินทรีย์ปริมาณสูงและหลากหลายจึงเป็นแหล่งที่พบจำนวนและความหลากหลายของจุลินทรียืสูง นอกจากนี้ยังอาศัยปัจจัยทางด้านกายภาพและทางเคมี เช่น ปริมาณออกซิเจน น้ำ สารอินทรีย์ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ความเค็ม จะกล่าวถึงบางปัจจัย ดังต่อไปนี้

1) ออกซิเจน โดยทั่งไปการย่อยสลายภายใต้สภาวะมีออกซิเจน (Aerobic Biodegradation) จะเกิดเร็วกว่าสภาวะไร้ออกซิเจน ตัวอย่างเช่น การปนเปื้อนของปิโตรเลียมในบริเวณทะเลสาบ น้ำจืดหรือแม่น้ำที่มีออกซิเจนมักเกิดการย่อยได้ดีกว่าบริเวณดินตะกอนที่ไร้ออกซิเจนซึ่งมักจะเกิดการตกค้าง สารอินทรีย์บางชนิดจะเกิดการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนเมื่อมีไนเตรท เหล็กหรือซัลเฟต เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ตัวอย่างเช่น เบนซีน สารแอโรแมติกที่มีออกซิเจนเกาะอยู่ เช่น เบนโซเอทหรือฟีนอล และแอโรเมติกที่มีหมู่อัลคิน เช่น โทลูอีน แม้กระนั้นก็ตามการย่อยสลายของสารเหล่านี้จะต้องการช่วงเวลาสำหรับเกิดการเปลี่ยนแปลงนานกว่าในสภาวะมีออกซิเจน

2) ปริมาณสารอินทรีย์ ผิวดินมีปริมาณจุลินทรีย์มาก ชั้นวาโดสและชั้นน้ำใต้ดินมักมีจุลินทรีย์ที่มีกิจกรรมค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการตอบสนองต่อแหล่งคาร์บอนจึงต่ำไปด้วย ที่ผิวดินจะมีการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน การย่อยจะเกิดค่อนข้างเร็ว การย่อยในชั้นวาโดสก็เกิดแบบใช้ออกซิเจนแต่จะใช้เวลาย่อยนานกว่า ส่วนการย่อยในชั้นใต้ดินลึกมักเกิดช้าเนื่องจากมีจุลินทรีย์ต่ำและเกิดเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนอย่างรวดเร็วเมื่อการย่อยดำเนินไประยะเวลาหนึ่ง และ Hammer (1986) ก็ยังได้กล่าวไว้ว่า สารอินทรีย์ในน้ำเสียร้อยละ 60-80 จะถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ แต่สารประกอบอินทรีย์จำพวกเซลลูโลส ผงซักฟอกชนิด ABS และสารกำจัดศัตรูพืชซึ่งมีประมาณร้อยละ 20-40 ในน้ำทิ้งจะถูกย่อยสลายได้ยาก

3) ปริมาณไนโตรเจน การย่อยสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนโดยเฉพาะไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนจะทำให้เกิดความต้องการสารอาหารจำพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้น และยังพบว่า สารอินทรีย์ที่มีอัตราส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจนสูงหรือสารอินทรียนั้นมีไนโตรเจนอยู่ต่ำ จะทำให้เกิดการสลายตัวค่อนข้างช้า

ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และค่าความเป็นกรด-ด่าง มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (สมศักดิ์, 2528) โดยที่อุณหภูมิต่ำ การทำงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของจุลินทรีย์จะช้า (ศุภมาศ, 2529) ส่วนอุณหภูมิสูงจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วกว่า และช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การทำงานของจุลินทรีย์คือ 30-40 องศาเซลเซียส (ไพบูลย์, 2528)

4. ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากแหล่งชุมชน

น้ำเสียชุมชนหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งได้ว่า น้ำโสโครก ได้แก่ น้ำทิ้งที่มาจากชุมชน บ้านเรือนที่พักอาศัย อาคาร ร้านค้า ภัตตาคาร โรงแรม เป็นต้น โดยน้ำเสียดังกล่าวมักจะเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การอุปโภคบริโภค การชำระล้างร่างกาย การขับถ่าย การซักล้าง ตลอดจนการประกอบอาหาร เป็นต้น น้ำเสียส่วนนี้มักปนเปื้อนสิ่งสกปรกจำพวกสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร อุจจาระ ปัสสาวะ สำหรับสารอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียนั้นประกอบไปด้วยแร่ธาตุต่างๆ เช่น กรวด ทราย ซัลเฟต และเกลือที่ละลายน้ำได้ ตลอดจนจุลินทรีย์ชนิดต่างๆซึ่งอาจจะมีน้ำที่เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ทั่วไป ดังนั้นในการที่จะบำบัดหรือการนำกลับไปใช้ประโยชน์ให้มีความถูกต้องและเหมาะสมนั้นจำเป็นต้องพิจารณาเกี่ยวกับคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำเสียทั้งในด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ

4.1 คุณสมบัติของน้ำเสียด้านกายภาพ

1) ของแข็ง หมายถึง สิ่งเจือปนในน้ำที่เหลืออยู่เมื่อระเหยน้ำออกจนหมด ไม่รวมถึงสารบางอย่างที่ระเหยไปกับน้ำ เช่น พวกกรดอินทรีย์และกรดต่างๆ ที่ละลายในน้ำ สิ่งเจือปนที่เหลือเป็นของแข็งนี้ มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ซึ่งอาจละลายในน้ำหรือไม่ก็ได้ ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมีของแข็งปะปนอยู่ด้วยจำนวนมาก

กรรณิการ์ (2549) ได้อธิบาย ของแข็งทั้งหมดว่าหมายถึง ส่วนที่เหลืออยู่ในภาชนะภายหลังจากที่ตัวอย่างถูกนำไประเหยและทำให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิกำหนด ของแข็งรวมนี้เป็นผลบวกของของแข็งแขวนลอยรวม (total suspended solids) ซึ่งเป็นส่วนของของแข็งที่ค้างอยู่บนกระดาษกรอง และของแข็งละลายรวม (total dissolved solids) ซึ่งเป็นส่วนที่ผ่านกระดาษกรอง total solids แบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะของการละลายคือ

(1) ของแข็งที่ละลายน้ำ หมายถึงของแข็งส่วนที่ละลายน้ำ อาจเป็นได้ทั้งเกลืออนินทรีย์ เช่น NaCl, Na_2CO_3 หรือสารอินทรีย์บางอย่าง เช่น น้ำตาล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(2) ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ แบ่งเป็น 2 ชนิด ตามขนาดของชิ้นส่วนที่ไม่ละลาย

- ของแข็งแขวนลอย หมายถึง ของแข็งส่วนที่ไม่ละลายน้ำแต่มีขนาดเล็กพอที่จะแขวนลอยอยู่ในน้ำได้

- ของแข็งตกตะกอน หมายถึง ของแข็งที่เป็นตะกอนขนาดใหญ่และหนัก สามารถตกมารวมกันยังส่วนล่างได้

เนื่องจากของแข็งหรือสิ่งเจือปนในน้ำมีทั้งสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ จากคุณสมบัติของสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเผาในอากาศที่อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส จะกลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำระเหยออกไป แต่สารอนินทรีย์จะยังคงอยู่ ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์หรือสารที่ระเหยออกไปได้เมื่อเผาเรียกว่า volatile solids แต่ส่วนที่ยังคงอยู่ ได้แก่ พวกเกลืออนินทรีย์ เรียกว่า fixed solids

การวิเคราะห์หาค่าของแข็งมีความสำคัญดังนี้ คือ

- ปริมาณ total solids แสดงถึงสิ่งเจือปนทั้งหมดในน้ำว่ามีมากหรือน้อยเพียงใด

- ปริมาณ suspended solids มีความสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมคุณภาพของแหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากสารแขวนลอยนี้จะกั้นแสงแดดที่ส่องลงมาในน้ำ ยังผลให้การสังเคราะห์แสงของพืชในน้ำลดลง เป็นการลดปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงทางหนึ่ง

- ปริมาณ volatile solids บอกให้ทราบถึงปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง

- ค่า settleable solids มีความสำคัญอย่างยิ่งในการกำจัดน้ำเสียในด้านการออกแบบว่าจำเป็นจะต้องใช้ถังตกตะกอนหรือไม่ และเพื่อหาขนาดของเครื่องสูบตะกอน

2) กลิ่น กลิ่นจากน้ำเสีย ส่วนมากแล้วมาจากแก๊สที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย แก๊สส่วนใหญ่แล้วจะเป็นแก๊สไข่เน่า (H_2S) ซึ่งเกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจนได้ทำการเปลี่ยนสภาพของซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ ส่วนสารอื่นๆที่สามารถทำให้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกิดกลิ่นไม่ดีเนื่องจากอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนในน้ำเสียได้ สำหรับการกำจัดกลิ่นในน้ำเสีย อาจใช้สารเคมีที่สามารถออกซิไดซ์สีที่ทำให้เกิดกลิ่นได้ เช่น คลอรีน, Hypochlorie , Permanganate หรือเครื่องกรองชนิดคาร์บอน

3) อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำเสียมีความสำคัญอย่างมากทั้งในแง่ของการออกแบบระบบบำบัด การควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งค่าอุณหภูมิซึ่งเป็นค่าหนึ่งที่ถูกกำหนดเป็นค่ามาตรฐานของน้ำทิ้งที่สามารถระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนั้น สิ่งมีชีวิตอาจตายได้ถ้าอุณหภูมิของน้ำทิ้งสูงเกินไปและยังมีผลต่อการละลายออกซิเจนในน้ำให้ลดลงอีกด้วย (ธงชัย, 2540) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมีก็จะเพิ่มขึ้น การละลายของแก๊สลดลง การละลายของแร่ธาตุจะเพิ่มขึ้น

อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เช่นในบ่อเติมอากาศ (aerated lagoons) ที่ใช้ย่อยสลายน้ำเสียจากชุมชน ในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สามารถลดค่าบีโอดีได้ถึงร้อยละ 85 แต่ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถลดค่าบีโอดีได้เพียงร้อยละ 65 เท่านั้น (Hammer, 1986) จากการศึกษาของศิริเพ็ญ (2536) ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิของน้ำตามระดับความลึกในอ่างเก็บน้ำเขื่อนจุฬาภรณ์ พบว่า อุณหภูมิมีค่าสูงที่ระดับผิวน้ำ และจะค่อยๆลดต่ำลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากบริเวณผิวน้ำได้รับแสงจากดวงอาทิตย์โดยตรง เมื่อความลึกเพิ่มขึ้น แสงจากดวงอาทิตย์ส่องลงไปในน้ำได้น้อยลงทำให้อุณหภูมิของน้ำค่อยๆ ลดต่ำลง

4) สี เกิดปัญหาเนื่องจากสีของน้ำเสียได้จากโรงงานหลายแห่ง เช่น โรงงานกระดาษ โรงงานทอผ้า ฯลฯ ซึ่งค่อนข้างยากในการแยกสีออกจากน้ำเสียได้หมดหรือการเกิดสาหร่าย (algae) มากๆ ในบ่อ หรือลำคลอง ก็จะเป็นสาเหตุทำให้น้ำมีสีเขียวได้ และผลเสียของสีในแหล่งน้ำธรรมชาติจะกั้นและขวางแสงแดดไม่ให้ส่องลงใต้น้ำ ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้ลดการเกิดการสังเคราะห์แสง

5) ความขุ่น คือสารแขวนลอยที่ลอยอยู่ในน้ำจะกั้นหรือขวางแสงแดดไม่ให้ส่องใต้น้ำได้มากถึง 100% น้ำที่มีความขุ่นมากจะทำให้ยากต่อการกรองน้ำ อาจเกิดจากของแข็งแขวนลอยที่มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขนาดแตกต่างกันมาก ขนาดของสิ่งแขวนลอยขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของน้ำ (มั่นสิน และมั่นรักษ์, 2545)

4.2 คุณสมบัติของน้ำเสียด้านเคมี

1) สารอินทรีย์ ส่วนประกอบที่สำคัญของสารอินทรีย์ในน้ำเสียชุมชน คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และน้ำมัน สำหรับพวกคาร์โบไฮเดรตและพวกโปรตีนสามารถถูกย่อยสลายโดยทางชีวภาพ และส่วนพวกไขมันและน้ำมันจะมีเสถียรภาพมากกว่าและจะถูกย่อยสลายโดยทางชีวภาพได้ช้ากว่ามาก น้ำเสียอาจประกอบด้วยส่วนน้อยของผงซักฟอก สาร Phenolic และพวก Pesticides ต่างๆเหล่านี้ขึ้นอยู่กับว่ามีปริมาณมากน้อยเท่าใดในน้ำเสีย ซึ่งทำให้เกิดน้ำเสียมากขึ้นได้

2) สารอินทรีย์ เป็นสารที่มีอยู่ในน้ำเสียทั่วๆไป ซึ่งจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสียนั้นๆ สารอินทรีย์บางชนิดก็จำเป็นต้องมีอยู่ในน้ำเสียบ้าง เพื่อช่วยให้กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยทางชีวภาพเป็นไปได้ด้วยดี แต่ก็มีสารอินทรีย์บางชนิดไม่ควรมีในน้ำเลย เพราะอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง คลอไรด์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ โลหะหนัก ก๊าซ เป็นต้น

ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่างหรือเรียกว่า พีเอช เป็นลักษณะสมบัติที่สำคัญมากของน้ำที่สามารถวัดได้ง่าย และมีบทบาทสำคัญไม่มากก็น้อยต่อกระบวนการต่างๆทั้งทางด้านน้ำดีและน้ำเสีย ในทางปฏิบัติ ถือว่าพีเอชของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 14 น้ำที่เป็นกลางถือว่ามีพีเอชเท่ากับ 7 น้ำที่เป็นกรดหรือด่างถือว่ามีพีเอชน้อยกว่า หรือมากกว่า 7 ตามลำดับ น้ำธรรมชาติมักมีพีเอชอยู่ใกล้ 7 น้ำผิวดินมักมีพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-7.5 เช่นเดียวกับน้ำใต้ดิน แต่น้ำใต้ดินอาจมีพีเอชเป็นกรด เช่น ต่ำกว่า 6 เป็นต้น เนื่องจากมีคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำใต้ดินอยู่ในปริมาณสูง น้ำในบ่อหรืออ่างเก็บน้ำอาจมีพีเอชได้สูงถึง 9 หรือมากกว่าถ้ามีสาหร่าย หรือแอลจีสีเขียวเจริญเติบโต และทำการสังเคราะห์แสงภายในแหล่งน้ำนั้น (มั่นสิน, 2545) ไมตรีและจารุวรรณ (2528) ยังได้กล่าวไว้ว่าความแตกต่างของความเป็นกรด-ด่างของแหล่งน้ำตามธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศและสภาพแวดล้อมหลายประการ เช่น ลักษณะพื้นดินและหิน ปริมาณน้ำฝน ตลอดจนการใช้ที่ดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในบริเวณแหล่งน้ำนั้น ระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำจะผันแปรตามระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน ในบริเวณที่ดินมีสภาพเป็นกรดก็จะทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรดตามไปด้วย และยังมีผลจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินประกอบอีกด้วย นอกจากนี้อิทธิพลของสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น จุลินทรีย์และแพลงตอนพืชสามารถทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเปลี่ยนแปลงในรอบวันอาจเพิ่มสูงขึ้นถึง 10 ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายในการสังเคราะห์แสงมากกว่าอัตราการหายใจของแบคทีเรีย ผลคือการแตกตัวของไบคาร์บอเนตไอออนได้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งสาหร่ายนำไปใช้ และไฮดรอกซิลไอออนทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูงขึ้น ดังแสดงในสมการ

$$HCO_3^- \longrightarrow CO^2 + OH^-$$

คลอไรด์

คลอไรด์ ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำเสีย สามารถบ่งชี้ถึงความสกปรกของน้ำเสียว่ามีมากน้อยเพียงใดได้ ซึ่งอาจใช้เป็นตัวชี้ว่ามีน้ำเสียไหลลงแหล่งน้ำนั้นหรือไม่ ถ้ามีไม่มากจนเกินไปจะไม่มีผลอันตรายต่อคนเรา ซึ่งเป็นแต่เพียงน้ำจะมีรสเค็มเท่านั้น

ไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพวก protista และพืชทั่วไป ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญที่สุดธาตุหนึ่งต่อการเจริญเติบโตของพวกจุลินทรีย์ต่างๆ ดังนั้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพจำเป็นต้องมีสารไนโตรเจนพอเพียงในน้ำเสีย ถ้ามีไม่พอจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเติมสารไนโตรเจนผสมลงไป แต่ถ้ามีมากเกินไปในแม่น้ำลำคลองหรือบ่อน้ำทั่วๆไปก็จะทำให้เกิดปัญหาขึ้นคือจะมีการเจริญเติบโตของสาหร่ายมากในแม่น้ำลำคลอง จึงจำเป็นอย่างยิ่งต้องควบคุมปริมาณของไนโตรเจนในน้ำให้เหมาะสม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุหนึ่งที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพวกจุลินทรีย์ต่างๆ เช่นเดียวกับไนโตรเจน แต่ถ้ามีฟอสฟอรัสมากเกินไปในแม่น้ำลำคลอง หรือบ่อน้ำทั่วๆไป ก็จะเป็นผลให้มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายมากมาก ซึ่งจะทำให้สิ่งแวดล้อมในแม่น้ำลำคลองนั้นเน่าเสีย

ซัลเฟอร์

ซัลเฟอร์เป็นสารที่อยู่ในน้ำธรรมชาติ สารซัลเฟอร์ที่มีความสำคัญในงานน้ำเสียได้แก่ Organic Sulfur,Hydrogen Sulfide (H_2S) , ธาตุซัลเฟอร์ เป็นต้น สารซัลเฟอร์ต่างๆมีความสัมพันธ์กับการอยู่รอดของจุลินทรีย์ การเกิดปัญหากลิ่นเหม็นจากการย่อยสลายน้ำเสีย การกัดกร่อนต่อสภาพแวดล้อม ฯลฯ

โลหะหนัก

โลหะหนักอาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์และสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหารเกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ปรอท โครเมียมและทองแดง ปกติจะอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับในเขตชุมชน อาจมีมลพิษนี้มาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ อู่ซ่อมรถ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น

แก๊ส

แก๊สชนิดที่พบในน้ำเสีย โดยมากเป็นพวก ไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย และมีเทน ในบรรยากาศทั่วไปจะพบก๊าซไนโตรเจน ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนมาก สำหรับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย และมีเทน จะเกิดจากย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่มีอากาศ แก๊สเหล่านี้มีความสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสียเป็นอย่างมาก (วีรานุช, 2551)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ หรือ ดีโอ

ออกซิเจนนับว่าเป็นแก๊สที่มีความสำคัญมากในการดำรงชีวิตของคน สัตว์ และพืช เพราะต้องถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ เพื่อก่อให้เกิดพลังงาน กระบวนการที่ต้องการออกซิเจนเรียก aerobic process แก๊สที่มีอยู่ในบรรยากาศละลายน้ำได้มากน้อยต่างกันแล้วแต่ชนิดของแก๊สสำหรับไนโตรเจนและออกซิเจน จัดว่าเป็นแก๊สที่ละลายน้ำได้น้อยมาก และเนื่องจากมันไม่ได้ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำ ดังนั้นการละลายจึงขึ้นอยู่กับ partial pressure ของมันและอุณหภูมิ

ค่า solubility ของออกซิเจนในน้ำจะอยู่ในช่วง 14.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 0 องศาเซลเซียส และ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 35 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันบรรยากาศ 1 บรรยากาศ ซึ่งจะเห็นว่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความจริงข้อนี้สำคัญมากเพราะอัตราการเกิดออกซิเดชันทางชีวะจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และความต้องการออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่ออกซิเจนที่ละลายในน้ำน้อยลง ความจริงข้อนี้จะเห็นได้ชัดในต่างประเทศ หรือแม้แต่ในประเทศไทยเองก็ตามคือ ในฤดูร้อน ปริมาณ DO ในน้ำน้อยลงเพราะว่าอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการเน่าเหม็นของน้ำในสระ บ่อ เนื่องจากออกซิเจนไม่พอสำหรับทำให้เกิด aerobic condition สำหรับประเทศไทยการเน่าเหม็นของน้ำในแม่น้ำแม่กลองในฤดูร้อนก็เป็นตัวอย่างที่เห็นได้ชัดในเรื่องนี้ (กรรณิการ์, 2549)

Wetzel (1975) กล่าวว่า นอกจากนี้ปริมาณออกซิเจนยังเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความลึก โดยที่ผิวน้ำจะมีปริมาณสูงเนื่องจากการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำแล้วค่อยๆ ลดลงตามระดับความลึก เนื่องจากอัตราการสังเคราะห์แสงลดลง ขณะที่อัตราของกระบวนการสร้างและสลายซึ่งต้องใช้ออกซิเจนสูงขึ้น

ความสำคัญของค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

(1) DO ในน้ำเสียเป็นตัวบ่งชี้ว่าปฏิกิริยาทางชีวะที่เกิดขึ้น จะเกิดโดยสิ่งมีชีวิตแบบใช้ออกซิเจน หรือแบบไม่ใช้ออกซิเจน พวกสิ่งมีชีวิตแบบใช้ออกซิเจน ใช้ออกซิเจนอิสระเพื่อออกซิไดส์สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีอันตราย ในขณะที่สิ่งมีชีวิตแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดออกซิเดชันโดยการรีดิวซ์เกลืออนินทรีย์บางตัว เช่น SO_4^{2-} เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นเหม็น สิ่งมีชีวิตทั้งสองชนิดพบทั่วไปในธรรมชาติ จึงจำเป็นที่จะต้องรักษาสภาวะที่พวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สิ่งมีชีวิตแบบใช้ออกซิเจนชอบไว้ ไม่เช่นนั้นสิ่งมีชีวิตแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเข้ามาแทนที่ การหาค่า DO จึงเป็นความจำเป็นเพื่อที่จะรักษาสภาพที่ใช้ออกซิเจนในน้ำธรรมชาติซึ่งจะรับเอาสิ่งสกปรกจากที่ต่างๆ นอกจากนี้ยังใช้ในการรักษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนด้วย

(2) ค่า DO มีความสำคัญในการที่จะรักษาสภาวะของน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปลา และสัตว์น้ำอื่นๆ คือให้มีปริมาณ DO ที่พอเหมาะ เช่น ไม่น้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้น

(3) ค่า DO เป็นพื้นฐานของค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) เพื่อหาความสกปรกของน้ำเสีย

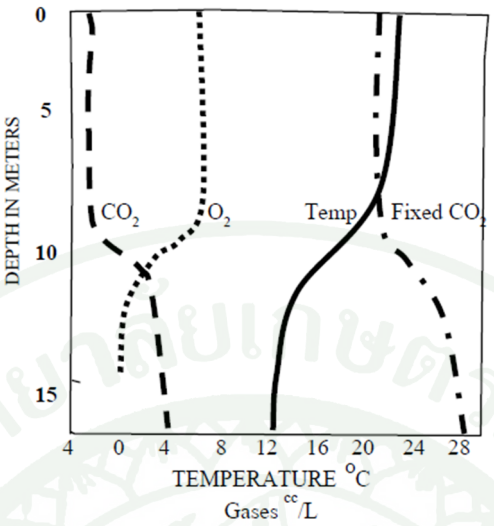
(4) ค่า DO เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการกัดกร่อนของเหล็ก โดยเฉพาะในท่อน้ำประปา และในหม้อต้มน้ำ โดยเฉพาะในหม้อต้มน้ำไม่ควรมี DO เลย แต่ถ้าความดันต่ำกว่า 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มี DO ได้ 0.015 พีพีเอ็ม

(5) ค่า DO ช่วยในการควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาในกระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน เพื่อให้แน่ใจว่ามีออกซิเจนพอที่จะรักษาสภาวะใช้ออกซิเจนไว้ได้ อีกทั้งป้องกันการใช้อากาศมากเกินควร

การแพร่กระจายของปริมาณออกซิเจนในระดับความลึกต่างๆ ของแหล่งน้ำมี 3 แบบ ดังนี้ คือ

(1) ในแหล่งน้ำที่เป็นแบบมีธาตุอาหารมาก (eutrophic) จะอยู่ในชั้นบนของทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำที่ไม่มีการผสม (epilimnion) เมื่อมีแพลงก์ตอนพืชมากในชั้นบน ก็จะทำให้มีออกซิเจนมาก เมื่อพวกพืชและสัตว์ในชั้นนี้ตายลงก็จะตกตะกอนมาในชั้นล่างส่วนลึกของทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำที่มีการแบ่งชั้น อุณหภูมิ ค่อนข้างคงที่ เรียกว่าชั้น hypolimnion และเกิดการย่อยสลายขึ้น ทำให้มีออกซิเจนน้อยลง แสดงดังภาพที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



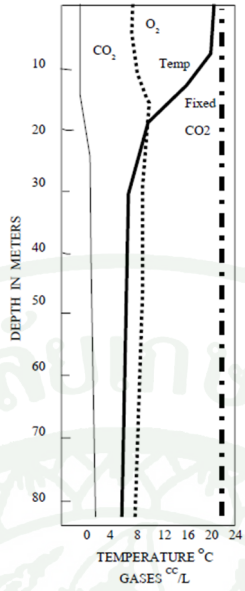
ภาพที่ 2 การแพร่กระจายของออกซิเจนในระดับความลึกต่างๆ ในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารสูง

ที่มา: Reid (1961)

(2) ในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารน้อย (Oligotrophic) มีน้ำค่อนข้างใส แสงสว่างส่องผ่านลงไปได้ลึก ทำให้มี eutrophic zone ที่ลึกมาก แต่เมื่อมีธาตุอาหารน้อยการสังเคราะห์แสงจึงเกิดขึ้นได้ไม่มาก ทำให้มีออกซิเจนน้อยและเมื่อมีอินทรีย์สารน้อยก็ไม่เกิดการย่อยสลายในชั้นล่าง (hypolimnion) แสดงดังภาพที่ 3

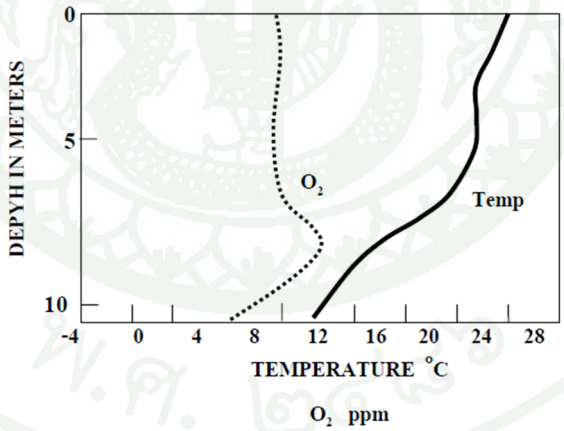
(3) ในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารปานกลาง (Mesotrophic) ซึ่งส่วนมากจะอยู่ในเขตอบอุ่น ปริมาณการละลายของออกซิเจนอาจมีมากในชั้น ซึ่งอยู่ในชั้นกลาง (metalimnion) ของน้ำ 3 ชั้นในทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำ ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะน้ำใส แสงสว่างส่องลงไปได้มากจนถึงระดับหนึ่งที่แสงสว่าง อุณหภูมิ และธาตุอาหารมีความเหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสงของพืช ฉะนั้นจึงมีการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นอย่างเต็มที่ในชั้นนี้ แสดงดังภาพที่ 4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 การแพร่กระจายของออกซิเจนในระดับความลึกต่างๆ ในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารต่ำ

ที่มา: Reid (1961)



ภาพที่ 4 การแพร่กระจายของออกซิเจนในระดับความลึกต่าง ๆ ในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารปานกลางและอยู่ในเขตอบอุ่น

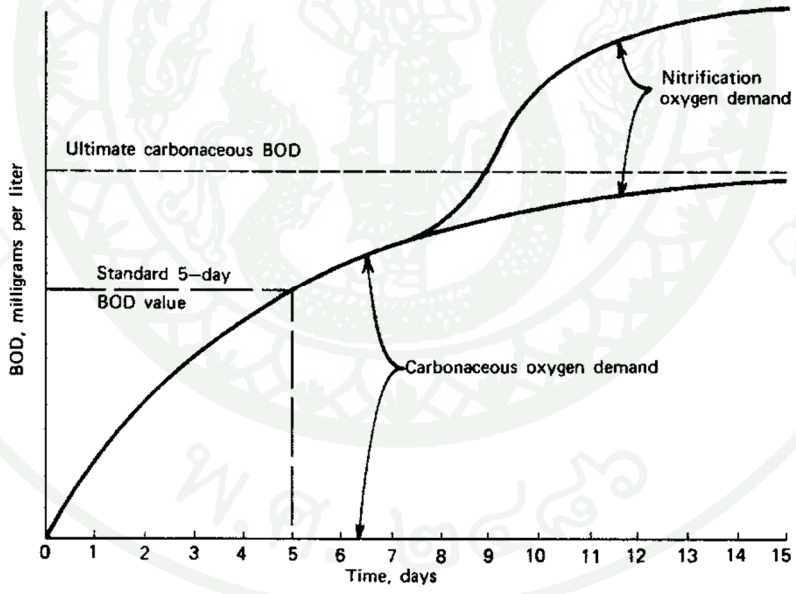
ที่มา: Reid (1961)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บีโอดี

บีโอดี ย่อมาจาก Biochemical Oxygen Demand คือปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ (decomposable) ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ซึ่งคำว่า decomposable หมายถึงสารอินทรีย์ที่สามารถเป็นอาหารของแบคทีเรีย จากการออกซิเดชันนี้ จะได้พลังงานซึ่งแบคทีเรียจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและแบ่งตัวต่อไป ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการออกซิเดชันสารเหล่านี้ อาจเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ หรือ แอมโมเนีย ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอาหาร

การใช้ออกซิเจนโดยแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์แบ่งออกเป็น 2 ระยะ แสดงด้วย BOD curve ดังในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 BOD curve รวมระหว่าง Carbonaceous และ Nitrification

ที่มา: Hammer (2004)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะที่ 1 เป็นการออกซิเดชันของสารประกอบคาร์บอน ดังสมการ

$$\text{คาร์โบไฮเดรต} + O_2 \xrightarrow{\text{Saprophytic}} CO_2 + H_2O$$

$$\text{โปรตีน} + O_2 \xrightarrow{\text{Saprophytic}} CO_2 + NH_3 + H_2O$$

ค่าของออกซิเจนในตัวอย่างที่ลดลงเนื่องจากถูกแบคทีเรียใช้ไปในกระบวนการออกซิเดชัน คือค่า BOD ที่หาได้

ระยะที่ 2 เป็นการออกซิเดชันของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรท ดังสมการ

$$2NH_3 + 3O_2 \xrightarrow[\text{bacteria}]{\text{Nitrate forming}} 2NO_2^- + 2H^+ + 2H_2O$$

$$2NO_2^- + O_2 + 2H^+ \xrightarrow[\text{bacteria}]{\text{Nitrate forming}} 2NO_3^- + 2H^+$$

ปฏิกิริยานี้เกิดโดย Nitrifying bacteria ซึ่งมีอยู่น้อยในน้ำโสโครกที่ยังไม่ได้ผ่านการบำบัดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการหาค่า BOD แบคทีเรียเหล่านี้จะมีการแบ่งตัวน้อยมากดังนั้น ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียพวกนี้ใช้ในช่วงระยะเวลา 5 วัน ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการหาค่า BOD จึงน้อยมาก

ค่า บีโอดี จะบอกถึงกำลังความสกปรกของน้ำเสียจากาอาคารบ้านพักอาศัย และจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในเทอมของออกซิเจนที่ต้องการใช้ เมื่อปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำลำคลอง ซึ่งอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนอยู่ การหาค่า BOD มีความสำคัญในการควบคุมความสกปรกของแหล่งน้ำ เพราะค่า BOD จะบอกถึง ความสกปรกของแหล่งน้ำนั้นได้ทันที นอกจากนี้ยังใช้ในการออกแบบขนาดของบ่อบำบัดน้ำเสียอีกด้วย (กรรณิการ์, 2549) ในการวิเคราะห์ค่าบีโอดีของน้ำเสียนิยมหาในช่วง 5 วัน ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยจะเรียกว่า ค่า BOD_5 ซึ่งค่าบีโอดีของน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับเวลาเป็นสิ่งสำคัญ ค่า BOD_5 นิยมใช้กันมาก แต่ในเวลา 5 วัน จะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เพียงร้อยละ 60-70 โดยค่า BOD_5 จะคิดจากปริมาณออกซิเจนที่ถูกพวก heterotrophic bacteria นำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ (สุกัญญา, 2548)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่า BOD_5 เป็นค่านิยมที่ใช้กันมากในการแสดงถึงระดับความสกปรกของน้ำเสียจากชุมชน ถ้าแหล่งน้ำนั้นมีค่าบีโอดีสูงมากแสดงว่าในน้ำมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายอยู่มากและถูกแบคทีเรียมาทำการย่อยสลายซึ่งจะใช้แก๊สออกซิเจนเป็นจำนวนมากทำให้เกิดการขาดก๊าซออกซิเจนได้ กรมควบคุมมลพิษ (2539) ได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนโดยกำหนดไว้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซีโอดี

กำลังความสกปรกของน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนและโรงงาน อาจบอกได้จากค่า COD ซึ่งเป็นปริมาณของตัวเติมออกซิเจนที่ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ซึ่งเป็นต้นเหตุของความสกปรกในน้ำ ภายใต้สภาวะที่ควบคุม ปริมาณของตัวเติมออกซิเจนที่ถูกใช้ไป จะบอกในเทอมของออกซิเจนที่สมมูลกันในทางอ้อม COD เป็นปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำทางเคมีให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยหลักการที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมดสามารถที่จะถูกออกซิไดส์โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด พวกอะมิโนไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน และพวกสารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรท โดยทั่วไปแล้วค่าของ COD จะมีค่ามากกว่าค่า BOD_5 เสมอ และใช้เวลาในการหาที่รวดเร็วกว่าการหาค่าบีโอดี และปริมาณของสารที่ถูกออกซิไดส์โดยวิธีทางเคมีจะมีปริมาณมากกว่าสารที่ถูกออกซิไดส์โดยวิธีทางชีวภาพหรือกล่าวได้ว่า ปริมาณสารอินทรีย์ที่วัดได้ในเทอมของ COD เป็นการวัดสารอินทรีย์ทั้งหมด (ทั้งที่ย่อยสลายได้ ย่อยสลายได้ช้า และย่อยสลายไม่ได้ด้วยจุลินทรีย์) เช่น กลูโคส ลิกนิน เซลลูโลส น้ำมัน ไขมันจากเนย พืช และสัตว์ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม นอกจากนี้ยังมีสารอนินทรีย์อื่นๆ เช่น เฟอรัสอิออน (Fe^{2+}), แมงกานีสอิออน (Mn^{2+}), คลอไรด์อิออน (Cl^-), ซัลเฟตอิออน (SO_4^{2-}) สารประกอบในรูปคอลลอยด์ที่แขวนลอยและสารละลายในน้ำเสียของสารประกอบเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับ $K_2Cr_2O_7$ ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ทำให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ในขณะที่ BOD เป็นการวัดสารอินทรีย์เฉพาะที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้เท่านั้น (พัฒนา, 2546) นอกจากนี้กรรณิการ์ (2549)ได้อธิบายไว้ว่า การที่ค่า COD สูงกว่าค่า BOD เนื่องจากสารอินทรีย์คาร์บอนถูกเปลี่ยนไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำโดยไม่ต้องอาศัยการดูดซึมทางชีวะโดยจุลินทรีย์ เช่น เซลลูโลส และลิกนินจะถูกออกซิไดส์อย่างแรง และถ้ามีสารที่ไม่สามารถถูกย่อยทางชีวะอยู่ด้วย เช่น เซลลูโลส จะทำให้ค่า COD ยิ่งสูงกว่าค่า BOD มากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3 คุณสมบัติของน้ำเสียด้านชีววิทยา

คุณสมบัติของน้ำเสียด้านชีววิทยาจะประกอบด้วยพวกจุลินทรีย์ที่พบในน้ำเสียทั่วๆไป ในแม่น้ำลำคลองและในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ พวก Organisms จะบ่งบอกถึงระดับความสกปรกของน้ำเสียและบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ต่างๆ จุลินทรีย์ที่พบในน้ำเสียทั่วๆไป จะประกอบด้วย แบคทีเรีย สาหร่าย ฟังไจ โปรโตซัว โรติเฟอร์ คัสตาเชียน และไวรัส (เกรียงศักดิ์, 2552)

5. กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีการที่ทำให้คุณภาพน้ำเสียดีขึ้นจนถึงระดับที่สามารถจะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำ หรือแม้กระทั่งให้มีคุณภาพดีขึ้นจนสามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือนำกลับไปใช้ในกิจกรรมอื่นๆอีก (เสริมพล และไชยยุทธ, 2525; Metcalf and Eddy, 1991) ดังนั้นกระบวนการในการบำบัดน้ำเสียจึงต้องประกอบด้วยขั้นตอนย่อยๆหลายขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนย่อยก็มีวัตถุประสงค์ในการกำจัดสิ่งสกปรกที่แตกต่างกันออกไป กระบวนการย่อยๆ สามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภท (สันทัด, 2552) คือ

5.1 กระบวนการทางกายภาพ

กระบวนการทางกายภาพเป็นการกำจัดของเสียหรือสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำเสียโดยอาศัยหลักการทางกายภาพ เช่น การดักด้วยตะแกรง การกวาดเก็บ การทำให้ลอย การตกตะกอน การแยกด้วยการเหวี่ยง การกรอง กระบวนการทางกายภาพนี้มักจะเหมาะสมกับการแยกสิ่งสกปรกหรือปนเปื้อนที่ไม่ละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้แล้วยังมีกระบวนการทางกายภาพอื่นๆ ที่มีการใช้อีก เช่น การลดอุณหภูมิของน้ำเสียโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเสียกับน้ำ หรือน้ำเสียกับอากาศ หรือแม้กระทั่งการใส่สิ่งสกปรกในน้ำเสีย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.2 กระบวนการทางเคมี

กระบวนการทางเคมีเป็นการกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ที่มักจะอยู่ในรูปของสารที่ละลายน้ำและสารแขวนลอย ซึ่งอาจจะเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ หลักการที่ใช้ คือ การทำให้เป็นกลาง การทำให้ตกตะกอน การรวมตะกอน การเติมและลดออกซิเจนในสิ่งสกปรกหรือปนเปื้อน วิธีการดังกล่าวมักจะมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดค่อนข้างสูง เนื่องจากราคาสารเคมีและค่าใช้จ่ายในการควบคุมและเดินระบบบำบัด วิธีการนี้มักจะเหมาะสมกับการแยกหรือบำบัดน้ำเสียที่มีสิ่งปนเปื้อนเป็นโลหะหนัก นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์บางชนิดที่ไม่ละลายน้ำหรือแขวนลอยอยู่ในน้ำในปริมาณสูงๆ และการใช้วิธีการทางชีววิทยาไม่มีความเหมาะสม เช่น สารอินทรีย์เหล่านั้นถูกย่อยสลายยากด้วยกระบวนการทางชีววิทยา โดยจะใช้ควบคู่กับกระบวนการทางกายภาพ เช่น การแยกไขมันออกจากน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมี เพื่อช่วยหรือกระตุ้นไขมันให้แยกตัวออกจากน้ำเสียได้ดีขึ้น หลังจากนั้นก็ใช้กระบวนการทางกายภาพเป็นการทำให้ลอย เพื่อแยกไขมันออกจากน้ำเสีย นอกจากนี้ในบางครั้งอาจจะใช้กระบวนการทางเคมีในการช่วยเสริมให้กระบวนการทางชีววิทยามีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น การใช้กระบวนการทางเคมีในการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียให้เหมาะสมก่อนเข้าสู่กระบวนการทางชีววิทยา หรืออาจจะใช้กระบวนการทางเคมีในการแยกสารพิษที่อาจจะเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดทางชีววิทยาออกจากน้ำเสียก่อนเข้าสู่กระบวนการทางชีววิทยา

5.3 กระบวนการทางชีววิทยา

กระบวนการทางชีววิทยาเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยสิ่งมีชีวิตซึ่งอาจจะเป็นจุลินทรีย์หรือพืชในการบำบัดหรือลดมลพิษในน้ำเสีย ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ในน้ำเสีย นอกจากนี้ยังได้มีการพิจารณานำกระบวนการทางชีววิทยามาใช้ในการบำบัดสารอนินทรีย์เช่นกัน กระบวนการบำบัดทางชีววิทยาสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีการหลัก คือ การบำบัดทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระหรือแบบไม่เติมอากาศ และการบำบัดทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนอิสระหรือแบบเติมอากาศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.4 กระบวนการทางฟิสิกส์-เคมี

กระบวนการทางฟิสิกส์-เคมีเป็นวิธีการที่สามารถใช้ได้กับน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ โดยอาศัยหลักการดูดซึมโดยสารคาร์บอน การแลกเปลี่ยนประจุ Reverse osmosis, Electrodialysis, Gas stripping หรือ Air stripping เป็นต้น อนึ่ง วิธีการทางฟิสิกส์-เคมีมักจะเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก มักจะใช้ในการบำบัดน้ำเสียขั้นสูงเป็นส่วนใหญ่ และจะเลือกใช้เพียงบางวิธีเท่านั้นกับน้ำเสียบางประเภทเท่านั้น เช่น Carbon adsorption, Ion exchange และ Air stripping เป็นต้น

6. ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย

ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่สร้างเป็นบ่อดินอาจจะเป็นบ่อเดียวหรือหลายๆบ่อต่ออนุกรมกัน ทั้งนี้จะทำการเก็บกักน้ำเสียไว้ โดยให้มีระยะเวลาพักตัวในบ่อนานพอที่จะให้จุลินทรีย์ได้ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย ทั้งนี้จุลินทรีย์จะได้รับออกซิเจนจากสองแหล่งด้วยกัน อันได้แก่ จากการถ่ายเทออกซิเจนในบรรยากาศลงสู่น้ำและอีกส่วนได้รับจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายที่เกิดขึ้นในบ่อนั้นเอง การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบบ่อบำบัดนี้ หากไม่คิดราคาที่ดินแล้วจะเป็นระบบที่มีราคาถูกที่สุดเพราะไม่ต้องการใช้เครื่องจักรกล การก่อสร้างง่าย และประหยัดค่าใช้จ่ายทั้งการเดินระบบและบำรุงรักษา

การแบ่งประเภทของบ่อบำบัดน้ำเสีย

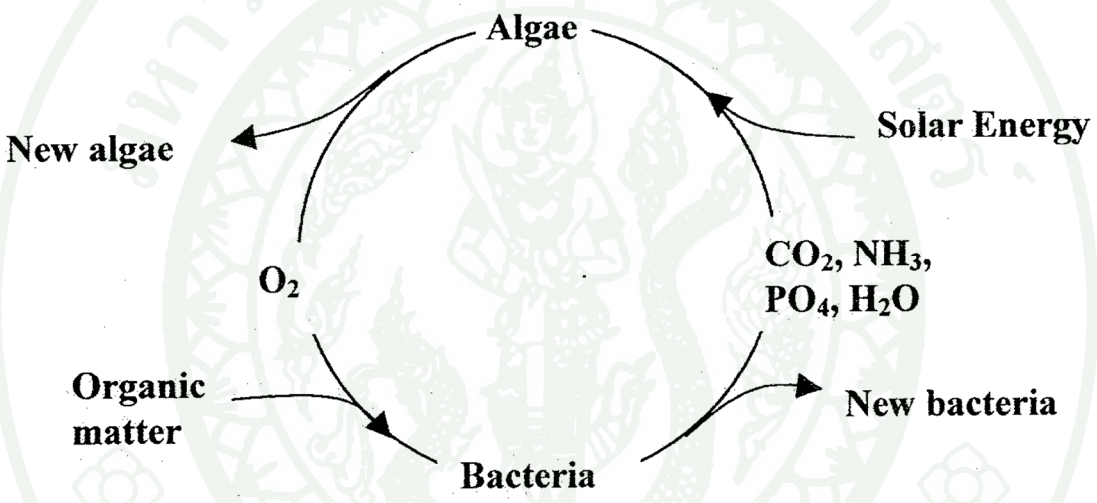
บ่อบำบัดน้ำเสียสามารถจำแนกแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ บ่อใช้อากาศ (aerobic pond) บ่อไร้อากาศ (anaerobic pond) และ บ่อกึ่งไร้อากาศ (facultative pond)

บ่อใช้อากาศ

บ่อใช้อากาศ เป็นบ่อที่มีความลึกไม่มากนัก ประมาณ 0.5-1.0 เมตร จึงทำให้ก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศสามารถถ่ายเทได้ทั่วบ่อ เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกต่ำๆ ส่วนใหญ่จะใช้บำบัดน้ำเสียต่อจากกระบวนการบำบัดอื่นๆ เพื่อลดความสกปรกให้ต่ำลง ก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากบ่อใช้อากาศมีความลึกไม่มากทำให้แสงแดด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สามารถส่องถึงก้นบ่อจึงส่งผลให้สาหร่ายสีเขียวสามารถสังเคราะห์แสงได้เป็นอย่างดีจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจะช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำ ซึ่งจุลินทรีย์ได้อาศัยออกซิเจนดังกล่าว ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และได้พลังงานเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งได้สารประกอบอนินทรีย์อื่นๆ ที่สาหร่ายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง อันเป็นลักษณะที่พึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันดังภาพที่ 6 ส่งผลให้ปริมาณสาหร่ายสีเขียวเกิดขึ้นในบ่ออย่างมากมาย ประมาณ 100-260 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้สภาพน้ำมีสีเขียวเข้ม ดังนั้นการระบายน้ำทิ้งออกจากบ่อประเภทนี้ ควรกำจัดสาหร่ายออกก่อนเพื่อไม่ก่อให้เกิดปัญหาความสกปรกต่อแหล่งน้ำธรรมชาติอื่นๆต่อไป



ภาพที่ 6 ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์และความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันระหว่างแบคทีเรียและสาหร่าย

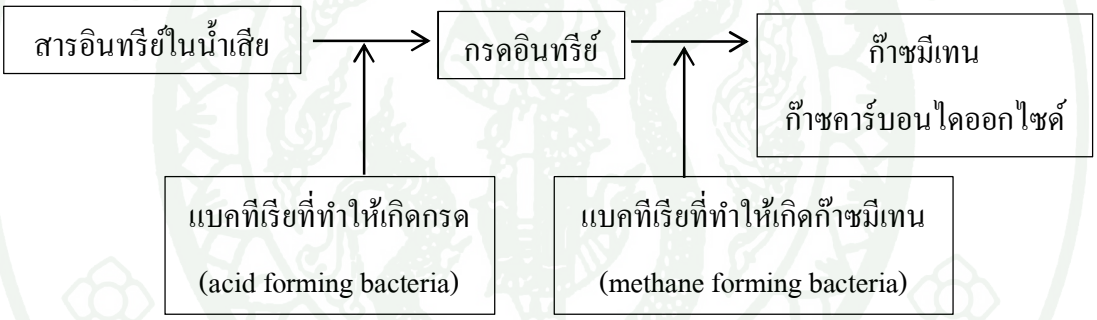
ที่มา: Chalas (1991)

การกำจัดสาหร่ายนั้นมีหลายวิธี ได้แก่ ใช้เครื่องกรอง, ใช้บ่อปรับสภาพน้ำขั้นสุดท้าย (polishing pond) พร้อมทั้งเลี้ยงปลา, ใช้ระบบบึงวัชพืชเป็นตัวกรอง, ใช้สารเคมีพวกคอปเปอร์ซัลเฟตละลายน้ำฉีดพ่นให้ทั่ว เพื่อฆ่าสาหร่าย ทั้งนี้ต้องทำการทดลองหาปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีที่จะใช้ ให้เหมาะสมก่อนที่นำไปใช้ในสภาพจริง เพราะถ้าปริมาณมากเกินไปอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำบางประเภท อีกทั้งปริมาณสาหร่ายที่ตายแล้วจะต้องหาวิธีแยกออกจากน้ำทิ้ง ซึ่งอาจใช้บ่อเก็บกักน้ำขั้นสุดท้าย เพื่อแยกสาหร่ายออกจากน้ำทิ้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บ่อไร้อากาศ

บ่อไร้อากาศ เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียที่มีความลึกมาก ตั้งแต่ 2.5 เมตรขึ้นไป ในบางแห่งลึกถึง 6.1 เมตร เหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกสูงๆ ดังนั้นจึงใช้เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียขั้นต้นของระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อลดค่าความสกปรกที่มีค่าสูงๆ ให้น้อยลง ก่อนที่จะปล่อยลงสู่บ่อบำบัดแบบกึ่งไร้อากาศ, บ่อใช้อากาศหรือบ่อปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นสุดท้ายต่อไป โดยปกติบ่อประเภทนี้ได้อาศัยจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนเป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ดังนั้นวิธีการออกแบบบ่อ จึงต้องกำหนดปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่อพื้นที่ผิวของบ่อ ให้สูง บางแห่งกำหนดค่าให้สูงถึง 500 กิโลกรัมต่อแฮกเตอร์ต่อวัน เพื่อควบคุมสภาวะไร้อากาศ ให้คงสภาพตลอดไปแต่อย่างไรก็ตามพื้นผิวน้ำของบ่อยังสามารถได้รับการถ่ายเทออกซิเจนจากบรรยากาศได้บ้างเล็กน้อย แต่ไม่ถึงกับทำให้เกิดสาหร่ายดังเช่นกับที่เกิดขึ้นในบ่อใช้อากาศ (anaerobic pond)



ภาพที่ 7 การเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีในบ่อไร้อากาศ

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2543)

การเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีในบ่อไร้อากาศ (ภาพที่ 7) แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอนด้วยกัน ในขั้นแรกเริ่มต้นด้วยจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนกลุ่มหนึ่ง เรียกว่า Acid Forming Bacteria ซึ่งจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติก และกรดโพรพริโนอิก หลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายกรด โดยจุลินทรีย์อีกประเภทหนึ่ง เรียกว่า Methane Forming Bacteria ทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นให้กลายเป็นแก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ปฏิกิริยาชีวเคมีที่ทำให้เกิดกรดอินทรีย์นี้จะส่งผลให้มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กลิ่นเหม็นรุนแรง อีกทั้งยังมีปัญหาเกี่ยวกับกลิ่นเหม็นที่เกิดจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) อีกด้วย

โดยปกติบริเวณผิวน้ำของบ่อไร้อากาศ จะเกิดตะกอนลอย (scum) เป็นฝ้าปกคลุมอยู่บนผิวน้ำ อีกทั้งยังสังเกตเห็นน้ำในบ่อไร้อากาศมีการผุดของฟองน้ำอันเกิดจากการแทรกตัวของแก๊สต่างๆ ลอยขึ้นด้านบน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสภาวะการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ได้อย่างดี

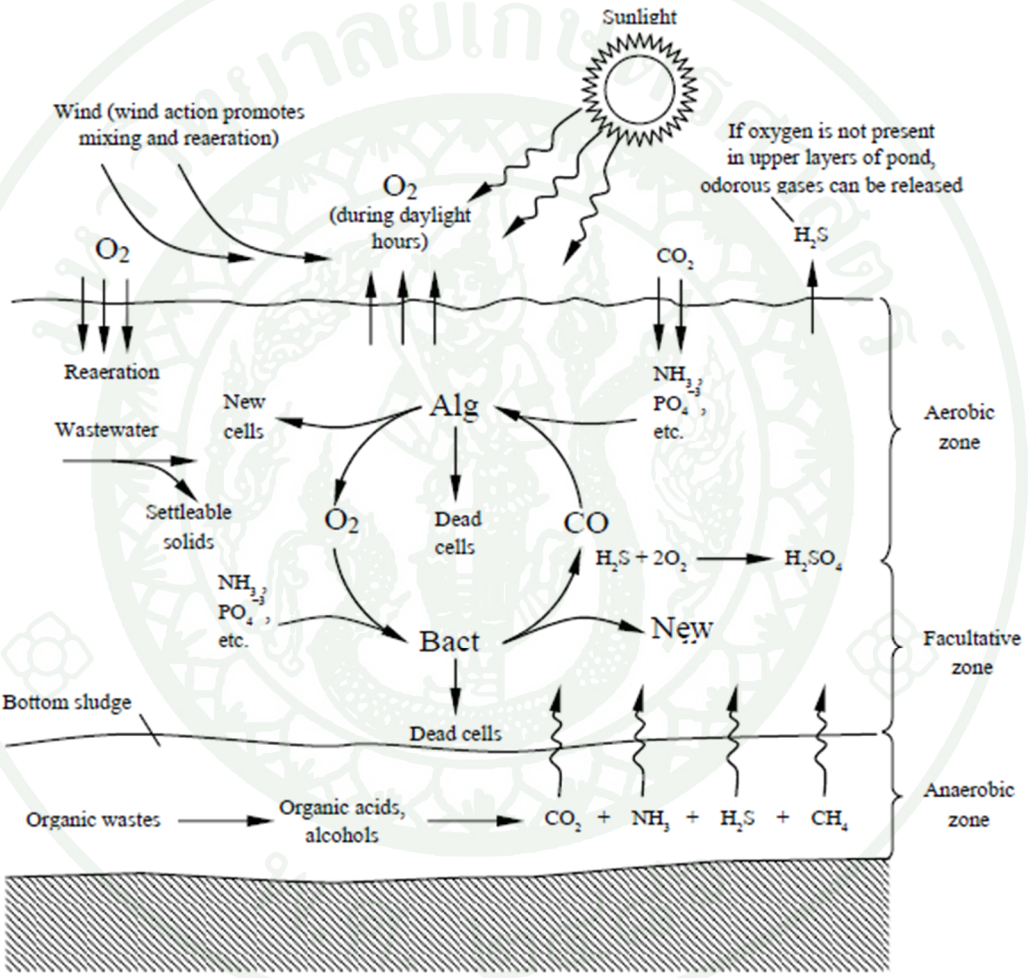
บ่อกึ่งไร้อากาศ

บ่อกึ่งไร้อากาศ เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียที่มีความลึกมากกว่าบ่อใช้อากาศ แต่ลึกน้อยกว่าบ่อไร้อากาศ คือ มีความลึกประมาณ 1.0-2.5 เมตร เหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากแหล่งชุมชน อีกทั้งยังนิยมใช้เป็นบ่อปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นสุดท้าย ก่อนที่จะปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ลักษณะสภาพแวดล้อมที่มีอากาศค่อนข้างร้อนอย่างประเทศไทย ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส จะทำให้การบำบัดน้ำเสียโดยใช้บ่อกึ่งไร้อากาศมีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งยังสามารถออกแบบให้ระบบบำบัดสามารถรับปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่อพื้นที่ผิวของบ่อได้สูง เกณฑ์ทั่วไปที่ใช้ในการออกแบบประมาณ 200 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ต่อวัน โดยใช้ระยะเวลาเก็บกักประมาณ 10 วัน จะให้ประสิทธิภาพในการลดค่าความสกปรกได้ถึง 85 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศเขตหนาวแล้วพบว่า การสร้างระบบบ่อกึ่งไร้อากาศในประเทศไทยใช้พื้นที่น้อยกว่า

ปฏิกิริยาชีวเคมีในบ่อกึ่งไร้อากาศ (ภาพที่ 8) แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นส่วนที่อยู่ชั้นบนของผิวน้ำที่แสงแดดสามารถส่องถึงเรียกว่า Aerobic zone จะเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนมีลักษณะการทำงานเหมือนกับบ่อใช้อากาศนั่นเอง ส่วนขั้นตอนที่สองเป็นส่วนที่อยู่ชั้นล่างจนถึงก้นบ่อที่แสงแดดไม่สามารถส่องถึงเรียกว่า Anaerobic zone เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะมีลักษณะการทำงานเหมือนบ่อไร้อากาศ และ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขั้นตอนที่สามจะมีความลึกอยู่ตรงกลางระหว่าง Aerobic zone และ Anaerobic zone ในชั้นนี้บางส่วนจะมีออกซิเจนอิสระบ้างเล็กน้อย บางส่วนอาจไม่มี ดังนั้นจึงต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ประเภท Facultative Bacteria เป็นตัวย่อยสลายความสกปรกในชั้นนี้ ทั้งนี้เพราะจุลินทรีย์ประเภทนี้สามารถทำงานได้ทั้งสภาพที่มีออกซิเจนและสภาพไร้ออกซิเจน



ภาพที่ 8 ปฏิกิริยาชีวเคมีในบ่อกึ่งไร้อากาศ

ที่มา: Metcalf and Eddy (1991)

ลักษณะของบ่อกึ่งไร้อากาศที่มีการติดตั้งเครื่องเติมอากาศเพิ่มขึ้น เราเรียกระบบบำบัดน้ำเสียเช่นนี้ว่า ระบบบ่อเติมอากาศ ทำให้เกิดการเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยัง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ก่อให้เกิดการกวนน้ำในบ่อให้ไหลเวียนได้อย่างทั่วถึง ทั้งนี้เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียให้สูงยิ่งขึ้น ทำให้ช่วยลดระยะเวลาเก็บกัก ของน้ำเสียให้สั้นลง ดังนั้นจึงสามารถช่วยประหยัดพื้นที่ในการก่อสร้างระบบให้ลดน้อยลงได้เป็นอย่างมาก ซึ่งการเติมอากาศลงในระบบเติมอากาศนั้น ควรควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำให้เหมาะสม โดยรักษาไว้ที่ระดับประมาณ 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร หากเติมมากเกินไปจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานโดยสูญเปล่า

7. น้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี

น้ำเสียเทศบาล หมายถึง น้ำโสโครกที่อยู่ในท่อน้ำที่โสโครกของเทศบาล ตามปกติจะมีน้ำโสโครกที่ปล่อยออกจากชุมชน บางแห่งเทศบาลอนุญาตให้โรงงานอุตสาหกรรมขนาดย่อม ถ่ายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายรวมกับน้ำเสียชุมชนได้ ทำให้มีความสกปรกมากขึ้น ในประเทศไทย ชุมชนเมืองทั่วๆไป น้ำเสียส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดเกิดจากชุมชน และประชากร ดังนั้น น้ำเสียเทศบาลจึงถูกให้ความหมายใกล้เคียงกับน้ำเสียชุมชน (สุรศักดิ์, 2540) ซึ่งน้ำเสียชุมชนจัดได้ว่าเป็นน้ำเสียที่มีส่วนประกอบค่อนข้างคงที่ ดังนั้นจึงใช้เป็นตัวอย่างสำหรับการศึกษาที่ดี สำหรับน้ำเสียเทศบาล (เปี่ยมศักดิ์, 2539)

ลักษณะน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี

เสริมพล และ ไชยยุทธ (2525) ได้กล่าวไว้ว่า ส่วนของน้ำเสียชุมชนหรือน้ำเสียของเทศบาล ว่าหมายถึง น้ำโสโครกที่อยู่ในท่อระบายน้ำโสโครกของเทศบาลเมือง ตามปกติแล้วจะมีแต่น้ำโสโครกที่ถูกปล่อยมาจากชุมชน แต่บางแห่งจะอนุญาตให้โรงงานอุตสาหกรรมและอุตสาหกรรมย่อย ถ่ายเทน้ำเสียลงสู่ท่อระบายน้ำรวมกับน้ำเสียจากแหล่งชุมชนได้จึงทำให้มีทั้งปริมาณและความสกปรกของน้ำโสโครกในท่อระบายน้ำของเทศบาลบางแห่งมีมากขึ้น และน้ำเสียชุมชนจะมีสมบัติทางเคมีเป็นกลางมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างไม่แตกต่างกันมากนัก สิ่งสกปรกในน้ำทิ้งมีทั้งสารอินทรีย์ทั้งที่เป็นของแข็งและสารละลาย นอกจากนี้ยังมีเชื้อโรคและพยาธิปนอยู่ด้วย แต่สิ่งสกปรกที่สำคัญที่สุดได้แก่ สารอินทรีย์ซึ่งมีจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ (อาภรณ์, 2539) สำหรับตัวอย่างลักษณะของน้ำเสียรวมจากแหล่งชุมชน เมื่อมีการระบายลงสู่ท่อน้ำเพื่อนำไปกำจัดที่ระบบบำบัดน้ำเสียของทางราชการและลักษณะของน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีนั้นแสดงดังตารางที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 ลักษณะของน้ำเสียรวมจากแหล่งชุมชน

ลักษณะ	แหล่งชุมชนโดยทั่วไป (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เทศบาลเมืองเพชรบุรี (มิลลิกรัมต่อลิตร)
บีโอดี (BOD_5)	100-300	165.4
สารแขวนลอย (Suspended Solids)	100-350	31.8
ไนโตรเจน (Total N)	20-80	27.8
ฟอสฟอรัส (PO_4)	6-20	4.0
น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	50-150	-

ที่มา: ปราณี (2537)

ชนิษฎา (2538) ได้ศึกษาถึงการใช้น้ำในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่า ปริมาณการใช้น้ำของครัวเรือนในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี ปริมาณการใช้น้ำเท่ากับ 60.55 ลิตรต่อคนต่อวัน (ตารางที่ 3) โดยร้อยละ 98.7 ของแหล่งน้ำอุปโภคของครัวเรือนเป็นน้ำประปา และน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการใช้น้ำร้อยละ 95.06 ถูกปล่อยลงท่อระบายน้ำทิ้งสาธารณะของเทศบาล

ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้น้ำของครัวเรือนตัวอย่างในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี

กิจกรรม	ปริมาณน้ำที่ใช้ (ลิตร/คน/วัน)	ร้อยละของน้ำที่ใช้	การจัดการน้ำเสีย
การอาบน้ำ	31.29	51.67	ปล่อยลงท่อระบายน้ำ
การซักผ้า	14.81	24.46	ปล่อยลงท่อระบายน้ำ
การทำความสะอาดบ้านเรือน	4.86	8.03	ปล่อยลงท่อระบายน้ำ
การล้างจานชามภาชนะ	6.60	10.90	ปล่อยลงท่อระบายน้ำ
การรดน้ำต้นไม้	2.99	4.94	ปล่อยให้ไหลไปตามพื้น
รวม	60.55	100.00	

ที่มา: ชนิษฎา (2538)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการศึกษาของ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย (2541) พบว่า ลักษณะน้ำเสียชุมชนของเทศบาลเมืองเพชรบุรี มีคุณสมบัติบางประการ ดังแสดงในตารางที่ 4 ดังนี้

อุณหภูมิ พบว่า อุณหภูมิของน้ำมีค่าเฉลี่ยตลอดปี 29.3 องศาเซลเซียส ในขณะที่บริเวณบ่อรวมน้ำเสียเทศบาลมีค่า 31.4 องศาเซลเซียส

ความเป็นกรดเป็นด่าง พบว่า มีค่าเฉลี่ย 6.9 จัดอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ และอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร ในขณะที่บ่อรวมน้ำเสียของเทศบาลมีค่า 6.8 ซึ่งมีค่าไม่ต่างกันมากนัก

ความขุ่น พบว่า มีความขุ่นเฉลี่ย 178.8 เอ็นทียู ในขณะที่บ่อรวมมีค่าความขุ่นเฉลี่ย 22 เอ็นทียู พบว่าความขุ่นแต่ละเดือนแตกต่างกัน เนื่องจากน้ำฝนอาจทำให้ความขุ่นเจือจาง

ของแข็งทั้งหมด พบว่า มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 2,690 มิลลิกรัมต่อลิตรสำหรับบ่อน้ำเสียรวมมีค่าเท่ากับ 695 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ พบว่า มีค่าเฉลี่ยตลอดปี 1.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่บ่อรวมน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีมีค่าไม่ต่างมากนักคือเฉลี่ย 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

บีโอดีและซีโอดี พบว่า บีโอดี มีค่าเฉลี่ย 555.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่บ่อรวมน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีมีค่า 55.1 มิลลิกรัมต่อลิตร การที่บีโอดีมีการเปลี่ยนแปลงเจือจางลงมาก เนื่องจากในเขตเทศบาลน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดจะถูกลำเลียงมาสู่ระบบบำบัดโดยอาศัยท่อระบายน้ำเสียรวม ซึ่งท่อระบายน้ำเสียจะรวมน้ำฝนเข้าไปด้วยทำให้ค่าบีโอดีที่แหล่งกำเนิดมีค่าสูงกว่าเมื่อถูกลำเลียงมายังบ่อรวมน้ำเสียและพบว่าค่าบีโอดีมีความผันแปร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาด้วย และค่าซีโอดีในเขตเทศบาลมีค่าเฉลี่ย 1,120.3 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับค่าซีโอดีในน้ำเสียที่บ่อรวมมีค่า 161.4 มิลลิกรัมต่อลิตร สัดส่วน ซีโอดี:บีโอดี ในน้ำเสียเขตเทศบาล เท่ากับ 2:1 เมื่อแยกพิจารณาตามประเภทการใช้ที่ดิน พบว่าเขตที่อยู่อาศัยจะมีค่าบีโอดีเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 1,281.1 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ พื้นที่ตลาด, พื้นที่พาณิชยกรรม, พื้นที่คมนาคม และพื้นที่สีเขียว มีค่าบีโอดีเฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับ 917.9, 514.9, 32.9 และ 28.8 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจน ในเขตเทศบาลมีค่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่เมื่อน้ำถูกลำเลียงมายังบ่อรวมน้ำเสียจะมีค่าลดลงเหลือ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าไม่เกินจากที่มาตรฐานน้ำทิ้งกำหนดไว้ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) และเมื่อเทียบกับปริมาณที่ตรวจพบการปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชนจากแหล่งอื่นพบว่า อยู่ในระดับที่เจือจาง

โลหะหนัก พบว่าน้ำเสียในท่อระบายน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี มีตะกั่วปนเปื้อนสูงที่สุดเฉลี่ยทั้งปี 0.138 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาได้แก่ นิกเกิล ปรอท โครเมียม และแคดเมียมมีปริมาณเฉลี่ย 0.041, 0.037, 0.024 และ 0.007 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ลักษณะน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ในช่วงเดือนเมษายน 2540 ถึงเดือนมีนาคม 2541

ลักษณะน้ำเสีย	ค่าเฉลี่ย	
	ในเขตเทศบาล	ในบ่อรวมน้ำเสีย
อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	29.3	31.4
ความเป็นกรดเป็นด่าง	6.9	6.8
ความขุ่น(เอ็นทียู)	178.8	22
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.3	1.2
ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,120.3	161.4
ค่าบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	555.1	55.1
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	2,690	695
ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.3	0.1

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2541)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. การบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

8.1 โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

พื้นที่โครงการตั้งอยู่ที่ บ้านพะเนิน ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ห่างจากเทศบาลเมืองเพชรบุรีประมาณ 22 กิโลเมตร มีพื้นที่ประมาณ 1,135ไร่ ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนจะประกอบด้วยสถานีสูบและรวบรวมน้ำเสียบ้านคลองยางตั้งอยู่ที่บ้านคลองยาง ตำบลช่องสะแก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี น้ำเสียจากบ่อรวมจะถูกส่งไปบำบัดที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยฯ ตำบลบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี เป็นระยะทาง 18.5 กิโลเมตร โดยท่อ HDPE (High Density Polyethylene) (โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2541)

8.2 บ่อรวบรวมน้ำเสีย สถานีสูบน้ำเสียและระบบท่อส่ง

บ่อรวมน้ำเสีย ออกแบบก่อสร้างเป็นรูปสี่เหลี่ยม ภายในแบ่งออกเป็นบ่อย่อยจำนวน 4 บ่อ (ภาพที่ 9) แต่ละบ่อมีความลึกประมาณ 4 เมตร มีความจุประมาณ 10,000 ลูกบาศก์เมตร บ่อรวมน้ำเสียมีพื้นที่บ่อ (รวมคันกั้นระหว่างบ่อ) 2,500 ตารางเมตร ประกอบด้วย บ่อเล็กขนาด 64 ตารางเมตร จำนวน 2 บ่อ และบ่อใหญ่ขนาด 1,176 ตารางเมตร ในการสูบน้ำเสีย ก่อสร้างสถานีสูบน้ำเสียเป็นอาคารถาวร พร้อมติดตั้งเครื่องสูบจำนวน 2 เครื่อง ใช้สูบสลับกันเพื่อเป็นการถนอมเครื่อง จากสถานีสูบน้ำเสียจะวางท่อ HDPE เป็นระยะทาง 18.5 กิโลเมตร เพื่อสูบน้ำส่งไปเข้าระบบบ่อบำบัดน้ำเสียต่อไป (ภาพที่ 9) ดังนั้นบ่อรวมน้ำเสียออกแบบไว้เพื่อเป็นบ่อตกตะกอนขั้นต้น ดักกรวด-ทราย รวมไปถึงดัก/กำจัดขยะที่ปะปนมากับน้ำเสีย ก่อนที่จะทำการสูบเข้าสู่ระบบบ่อบำบัดเพื่อบำบัดขั้นต่อไป

8.3 ปริมาณน้ำเสีย

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2541) ได้ทำการสำรวจวัดปริมาณน้ำเสียที่ทำการสูบเข้าสู่ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย พบว่าในปี 2540 เทศบาลเมืองเพชรบุรีสามารถรวบรวมน้ำเสีย ได้เฉลี่ยวันละ 3,792.77 ลูกบาศก์เมตร โดยมีปริมาณเฉลี่ยต่อวันในแต่ละเดือน ดังตารางที่ 5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่บ่อรวมน้ำเสีย บริเวณสถานีสูบน้ำเสียบ้านคลองยาง ในช่วงเดือน เมษายน 2540 – มีนาคม 2541

ปี	เดือน	ปริมาณน้ำเสีย (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)
2540	เมษายน	4935.00
	พฤษภาคม	3792.77
	มิถุนายน	3069.70
	กรกฎาคม	3244.97
	สิงหาคม	4024.38
	กันยายน	5010.36
	ตุลาคม	3499.34
	พฤศจิกายน	1869.78
	ธันวาคม	2464.32
2541	มกราคม	3633.55
	กุมภาพันธ์	5616.43
	มีนาคม	4352.61
	เฉลี่ย	3792.77

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2543)

9. ความสัมพันธ์ระหว่างดินและน้ำในบ่อบำบัดน้ำเสีย

ดินพื้นบ่อมีความสำคัญ คือ จะทำหน้าที่ในการเก็บกักน้ำเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์และพืชน้ำ เป็นที่เก็บสะสมของสาร และเป็นศูนย์กลางการหมุนเวียนของธาตุอาหารต่าง ๆ ภายในบ่อ (Boyd, 1990; Matida, 1966) อีกทั้งยังเป็นบัฟเฟอร์และเป็นตัวกรองทางชีวภาพโดยดูดยึดสารอินทรีย์ตกค้างจากอาหาร สิ่งขับถ่ายและสารเมตาบอไลท์ต่าง ๆ (Ray and Chien, 1992) คุณภาพของดินพื้นบ่อจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในบ่อและสัตว์น้ำได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับกระบวนการทางฟิสิกส์ เคมีและชีวภาพของดินพื้นบ่อจะเกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างดินและน้ำจะส่งผลต่อคุณภาพน้ำ การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของสัตว์น้ำ (Hajek and Boyd, 1994) การแลกเปลี่ยนที่เกิดขึ้นระหว่างดินและน้ำจะเกี่ยวข้องกับอินทรียวัตถุและออกซิเจน โดยจะเป็นพลังงาน แร่ธาตุและอาหารสำหรับสิ่งมีชีวิตในดินขนาดเล็กและสัตว์หน้าดิน (Guy, 1992) โดยสามารถแบ่งดินพื้นบ่อออกเป็นชั้นตามระดับความลึกและปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Barnes and Hughs, 1982; Brown and McLachlan, 1990; Munsiri et al., 1995) ได้ 4 ชั้น คือ

9.1 flocculent layer เป็นชั้นบนสุดของดินพื้นบ่อ ประกอบด้วยพวกซากแพลงก์ตอนที่ตาย อาหารเหลือสิ่งขับถ่าย จุลินทรีย์ และอนุภาคขนาดเล็ก การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านบริเวณนี้จะช้า เนื่องจากมีความหนืดสูงกว่าน้ำที่หมุนเวียนอยู่ข้างบน สารต่าง ๆ เคลื่อนที่โดยการพาและการแพร่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแพร่จะมีบทบาทหลักต่อการปลดปล่อยสารหรือไอออนต่าง ๆ จากน้ำในดิน (interstitial water) สู่น้ำในบ่อ ส่วนการเคลื่อนที่ของสารลงสู่ดินชั้นล่างตามช่องว่างระหว่างอนุภาคดินเกิดการแพร่และการดูดซึมลงสู่ด้านล่าง(downward seepage) (Boyd, 1995)

9.2 oxidized layer หรือ aerobic zone คือ ดินชั้นบนที่มีออกซิเจน ไนโตรเจนและซัลเฟอร์ซึ่งอยู่ในสภาพออกซิไดซ์ ได้แก่ ไนเตรทและซัลเฟตโดยมีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ระหว่าง 200-400 มิลลิโวลต์ ดินชั้นนี้จะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันโดยกลุ่มแบคทีเรียพวกคีโมลิโทโทรฟ (chemolithotroph) ดวงพร (2545) และชลอ (2547) ได้อธิบายว่ากระบวนการนี้จะเริ่มจากแอมโมเนียมไอออนจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์โดยแบคทีเรีย Nitrosomonas และขั้นที่สองไนไตรท์ถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรทโดยแบคทีเรีย Nitrobacter ทั้งสองกระบวนการเป็นการหายใจแบบใช้ออกซิเจน เรียกแบคทีเรียกลุ่มนี้ว่าไนตริไฟอิ้งแบคทีเรีย ดินในชั้นนี้ยังมีกระบวนการตรึงแก๊สไนโตรเจนโดยเปลี่ยนแก๊สไนโตรเจนกลับมาเป็นไนเตรท และกระบวนการดีซัลเฟอริเซชัน (desulferization) คือ กระบวนการกำจัดซัลเฟอร์ออกจากสารอินทรีย์ทำให้เกิดซัลเฟตโดยแบคทีเรียบางชนิดในชั้นที่มีออกซิเจน

9.3 redox potential discontinuity layer (RPD) คือ ดินชั้นกลางซึ่งอยู่ระหว่างชั้นที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจนจะมีการเปลี่ยนจากสภาวะออกซิไดซ์เป็นสภาวะรีดิวซ์ ออกซิเจนในดินชั้นนี้จะลดลงจนเกือบหมด ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์จะมีค่าใกล้เคียง 0 มิลลิโวลต์ (Brown and McLachlan, 1990) เริ่มมีการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดยไนเตรทจะทำหน้าที่เป็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตัวรับอิเลคตรอนตัวสุดท้าย เรียกว่า การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration ในที่นี้ก็คือ nitrate respiration) ไนเตรทถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน สำหรับการใช้กลูโคสโดยผ่านการรีดิวซ์ไนเตรทสรุปเป็นสมการได้ดังนี้

$$4NO_3^- + C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2N_2 + 6CO_2 + 6H_2O$$

ดังนั้นกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่เกิดโดยแบคทีเรียบางชนิด เช่น *Escherichia coli* ซึ่งมีความสามารถรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์ แต่แบคทีเรียอื่น ๆ สามารถทำขั้นตอนต่อจากนี้ได้อีก 2 ขั้นตอนของการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ การรีดิวซ์ไนไตรท์เป็นแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และรีดิวซ์ต่อเป็นแก๊สไนโตรเจน เมื่อเกิดก๊าซไนตริกออกไซด์หรือไนตรัสออกไซด์หรือไนโตรเจน ถือว่าเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ตัวอย่างแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกระบวนการนี้ เช่น *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Spirillum*, *Thiobacillus* และ *Bacillus* การเกิดไนตรัสออกไซด์เกิดได้ดีเมื่อสิ่งแวดล้อมมีไนเตรทปริมาณมากและมีค่าพีเอชที่ต่ำแต่การเกิดแก๊สไนโตรเจนจะเกิดได้ดีกว่าเมื่อมีสารอินทรีย์เพียงพอที่จะเป็นแหล่งพลังงานสรุปเป็นสมการได้ดังนี้

$$4NO_3^- + 5CH_2O \text{ (organic matter)} \longrightarrow 2N_2 + 5CO_2 + 7H_2O$$

สารอินทรีย์จะถูกแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนจากไนเตรทเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและแก๊สไนโตรเจน ซึ่งแก๊สไนโตรเจนที่ถูกสร้างขึ้นจะถูกส่งออกไปสู่บรรยากาศ คาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ปฏิกิริยานี้จะทำให้ดินมีความเป็นกรดลดลง (Boyd, 1995)

9.4 reduced layer คือ ดินชั้นล่างสุดที่ไม่มีออกซิเจนซึ่งเป็นชั้นรีดิวซ์ ในดินชั้นนี้จะมีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์เป็นลบ ภายหลังจากการใช้ไนเตรท (NO_3^-) แมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) จนหมดแล้ว แบคทีเรียพื้นบ่อบางชนิดจะใช้ซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นตัวรับอิเลคตรอนซึ่งการใช้ซัลเฟตในการหายใจเป็นการรีดิวซ์ซัลเฟตแบบสลาย (dissimilatory sulfate reduction) และแบคทีเรียกลุ่มนี้เจริญในสภาวะไม่มีออกซิเจนเท่านั้น เรียกแบคทีเรียกลุ่มนี้ว่า sulfate reducing bacteria ได้แก่ *Desulfovibrio*, *Desulfomonas* ผลจากการรีดิวซ์ทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ดวงพร, 2545) สรุปเป็นสมการได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

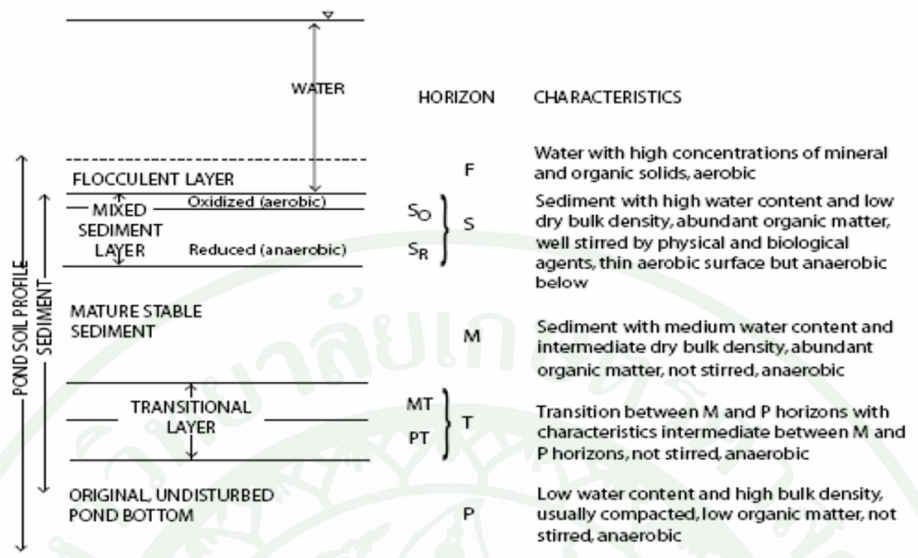
$$SO_4^{2-} + 2CH_2O \text{ (organic matter)} \longrightarrow S^{2-} + 2CO_2 + 2H_2O$$

$$S^{2-} + 2H^+ \longrightarrow H_2S$$

ซัลไฟด์ซึ่งจะอยู่ในสามรูปแบบ คือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไฮโดรซัลไฟด์ไอออน(HS^-) และไบซัลไฟด์ไอออน (S^{2-}) ในน้ำที่มีพีเอชต่ำจะมีเปอร์เซ็นต์ของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูง แต้ถ้าน้ำมีค่าพีเอชสูงขึ้นเปอร์เซ็นต์ของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะลดลง แต่ไฮโดรซัลไฟด์ไอออนและไบซัลไฟด์ไอออนมากขึ้นความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำลดลงด้วย (ชลอ และ พรเลิศ, 2547) พวกโลหะหนักที่มีความว่องไวมากจะรวมตัวกับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ แล้วอยู่ในรูปตกตะกอนเป็นโลหะซัลไฟด์ซึ่งมีสีดำ

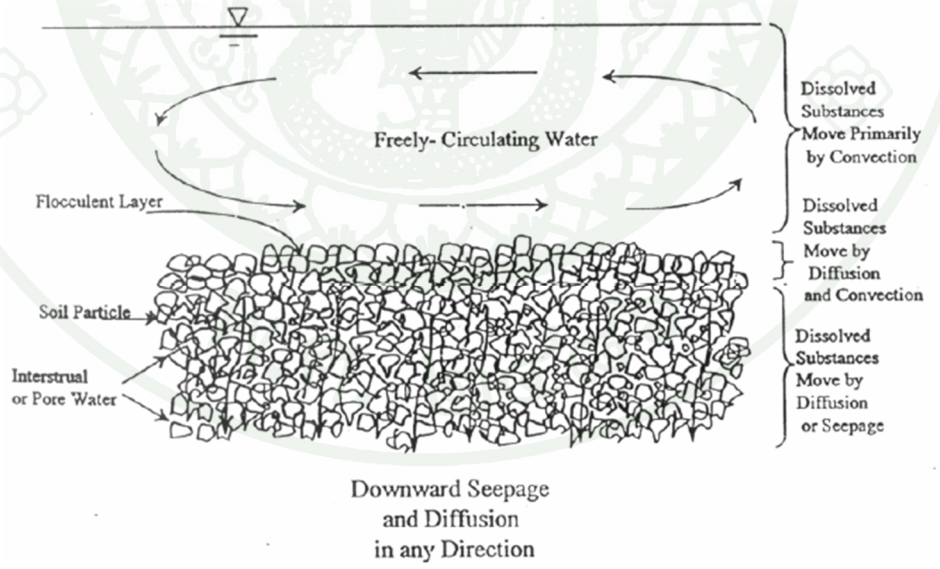
การเคลื่อนย้ายสารต่าง ๆ ภายในบ่อในทางเคมีมี 2 ลักษณะ คือผิวดินพื้นบ่อที่มีออกซิเจนและผิวดินพื้นบ่อที่ไม่มีออกซิเจนแต่น้ำที่อยู่ข้างบนยังมีอากาศ ชั้นที่มีออกซิเจนจะควบคุมไม่ให้สารรีดิวซ์ เช่น พวกไนไตรท์ เฟอร์รัสไฮโดรเจนซัลไฟด์ แก๊สมีเทนและสารรีดิวซ์ตัวอื่น ๆ แพร่ขึ้นไปสู่น้ำข้างบน ถ้าน้ำในบ่อมีออกซิเจนสารรีดิวซ์เหล่านี้จะตกตะกอนลงมาอีกครั้ง (ลลิตา, 2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 9 ชั้นของหน้าดินตัดพื้นบ่อ

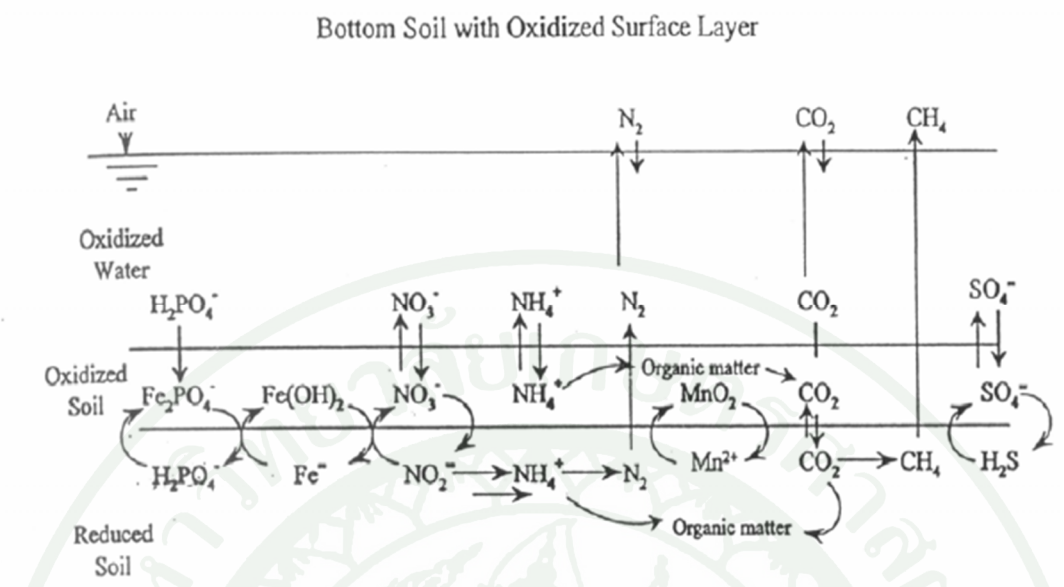
ที่มา: Munsiri et al. (1995)



ภาพที่ 10 การเคลื่อนที่ของน้ำและมวลสารต่างๆ ภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

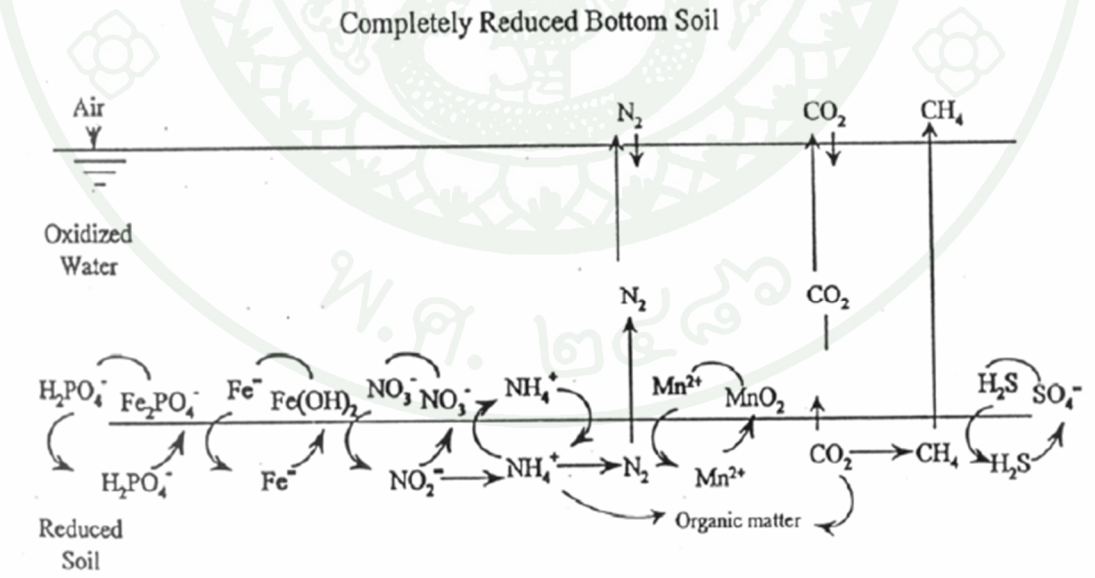
ที่มา: Boyd (1990)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 11 การเคลื่อนที่ของสารบริเวณระหว่างชั้นดินและน้ำในบ่อที่พื้นผิวบ่อมีออกซิเจน

ที่มา: Boyd (1995)



ภาพที่ 12 การเคลื่อนที่ของสารบริเวณระหว่างชั้นดินและน้ำในบ่อที่พื้นผิวบ่อที่ขาดออกซิเจน

ที่มา: Boyd (1995)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

10. ซัลเฟอร์

ชั้นของหินเปลือกโลกนั้นเป็นแหล่งที่สำคัญของซัลเฟอร์ จะมีแร่ซัลเฟอร์ที่เกิดจากการทับถมของซากพืช ซากสัตว์อยู่เป็นจำนวนมาก โดยซัลเฟอร์นั้นจะมีอยู่หลายรูปแบบ ถ้าเป็นแก๊สจะอยู่ในรูปซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ในน้ำและดินซัลเฟอร์จะอยู่ในรูปไอออนของซัลเฟต (SO_4^{2-}) ในสิ่งมีชีวิตนั้นซัลเฟอร์จะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโนซัลเฟอร์ทั้งในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เมื่อเกิดการหมุนเวียนของวัฏจักรสามารถเปลี่ยนจากรูปแบบหนึ่งไปยังรูปแบบอื่นๆได้

ซัลเฟอร์นั้นมีค่าเลขออกซิเดชันจาก +6 ในรูป SO_4^{2-} ถึง -2 ในรูปซัลไฟด์ ซึ่งมีวาเลนซ์หลายรูปแบบ ในสถานะที่มีการถ่ายโอนอิเล็คตรอนเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ (ค่าประจุ) ในโมเลกุล ซัลเฟอร์จะอยู่ในรูปซัลเฟต SO_4^{2-} และจะเป็นแอนไอออนเมื่ออยู่ในน้ำ ตามธรรมชาติจะพบซัลเฟอร์ได้หลายรูปแบบที่อยู่ในค่าประจุโมเลกุลที่ต่างกันและมีส่วนร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันที่สำคัญของธรณีเคมี โดยเป็นที่รู้กันว่าซัลเฟอร์จะมี 9 ไอโซโทป แต่จะมี 4 ไอโซโทปที่มีความเสถียรแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ไอโซโทปที่เสถียรของธาตุซัลเฟอร์

Isotope	Average crustal abundance (%)
^{32}S	95.0
^{33}S	0.76
^{34}S	4.22
^{36}S	0.014

ที่มา: Charlson et al. (1992)

ในธรรมชาติสารประกอบซัลไฟด์จะมีอยู่หลายรูปแบบ โดยชั้นของหินเปลือกโลกเป็นแหล่งของซัลเฟอร์ซึ่งการออกจากระบบพื้นผิวโลกเกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ ทำให้มีแหล่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซัลเฟอร์ที่กว้างใหญ่ คือ เปลือกโลกในรูปของแร่ธาตุ เช่น ไพไรต์ (FeS_2) ในบรรยากาศจึงมีซัลเฟอร์อยู่จากนั้นจะถูกออกซิเจนพัดพาถ่ายโอนลงมายังทะเล และพบในรูป SO_4^{2-} ในน้ำ สิ่งมีชีวิตก็จะรีดิวซ์และเปลี่ยนไปเป็นสารอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโปรตีน (Thoucha, 2003)

10.1 วัฏจักรซัลเฟอร์

ซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในกรดอะมิโนบางชนิด สิ่งมีชีวิตนำซัลเฟอร์มาใช้ได้ในรูปลดออกซิเจน ซึ่งต้องอาศัยแบคทีเรียบางชนิดเป็นตัวทำปฏิกิริยา วงจรของซัลเฟอร์เหมือนกับวงจรของธาตุอื่นในแง่ที่ว่ามีแหล่งสะสมอยู่ตามองค์ประกอบของระบบนิเวศ และมีอยู่หลายแหล่ง ในบรรยากาศมีซัลเฟอร์อยู่น้อยกว่าในดินและตะกอน และน้อยกว่าออกซิเจนในบรรยากาศ สิ่งมีชีวิตไม่ได้ต้องการซัลเฟอร์มากมายเหมือนไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์จึงไม่เป็นปัจจัยจำกัดการเจริญของพืชและสัตว์ในสภาพธรรมชาติ แต่วงจรของซัลเฟอร์ก็สำคัญ เพราะเกี่ยวข้องกับผลผลิตและการย่อยสลายตัวของสารอินทรีย์ในระบบนิเวศ

ซัลเฟอร์มีการสะสมอยู่ในหลายรูปแบบ ทั้งที่เป็นธาตุและสารประกอบ คือรวมตัวอยู่กับธาตุอื่น เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศ ปฏิกิริยาเพิ่มและลดออกซิเจนทำให้มีการไหลเวียนของซัลเฟอร์ ปฏิกิริยาการลดหรือเพิ่มออกซิเจนนี้ ต้องอาศัยแบคทีเรียบางชนิดเป็นตัวทำปฏิกิริยา (สมทิพย์ และคณะ, 2553)

พืชชั้นสูง, สาหร่าย และจุลชีพกลุ่มเฮเทอโรโทฟ (Heterotroph) สามารถนำซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลเฟตมาผลิตเป็นกรดอะมิโน เช่น ซีสเทอีน (Cysteine), เมไทโอนีน (Methionine) และโคเอนไซม์ชนิดต่างๆ (Coenzymes) โดยอยู่ในรูปของซัลฟ์ไฮดริล (Sulfhydryl; -SH) หรือสารอินทรีย์แต่กลุ่มสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ไม่สามารถใช้ธาตุซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปของซัลไฟด์ หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เพราะสารทั้ง 2 ชนิดนี้จะมีความเป็นพิษสูงต่อสิ่งมีชีวิตและธาตุซัลเฟอร์จะถูกหมุนเวียนในสิ่งแวดล้อม

10.2 ปฏิกิริยาที่เกิดในวัฏจักรซัลเฟอร์

ปฏิกิริยาซัลไฟด์ออกซิเดชัน (Sulfide oxidation)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปฏิกิริยาซัลไฟด์ออกซิเดชัน คือ ปฏิกิริยาที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นสารตั้งต้นและใช้ก๊าซออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนไปเป็นเม็ดซัลเฟอร์ (S^0) และน้ำแสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$H_2S + ½ O_2 \longrightarrow S^0 + H_2O \quad (1)$$

ปฏิกิริยาซัลเฟอร์ออกซิเดชัน (Sulfur oxidation)

ปฏิกิริยาซัลเฟอร์ออกซิเดชัน คือ ปฏิกิริยาที่เปลี่ยนแปลงเม็ดซัลเฟอร์ (S^0) ไปเป็นซัลเฟตดังแสดงในสมการที่ (2)

$$S^0 + 1 ½ O_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4 \quad (2)$$

ปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันแบบแอสซิมิเลชัน (Assimilatory sulfate reduction)

ปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันแบบแอสซิมิเลชัน คือ ปฏิกิริยาที่เปลี่ยนแปลงซัลเฟตไปเป็นสารประกอบอินทรีย์ (R-SH) ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$SO_4^{2-} \longrightarrow R\text{-}SH \quad (3)$$

ปฏิกิริยานี้จะมีการผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ในปริมาณที่น้อยและไฮโดรเจนซัลไฟด์ส่วนนี้จะถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ

ปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันแบบดิสซิมิเลชัน (Dissimilatory sulfate reduction)

ปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันแบบดิสซิมิเลชัน คือ ปฏิกิริยาที่เปลี่ยนแปลงซัลเฟตไปเป็นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ดังสมการที่ (4) ด้วยการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มซัลเฟตรีดักชัน (Sulfate reducing bacteria) แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์จากปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันแบบดิสซิมิเลชันนี้จะมีการปล่อยแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ปริมาณมากออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในดินตะกอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาสมุทรหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ จะเห็นการสะสมแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์จากดินตะกอนสีดำ รวมทั้งในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

$$SO_4^{2-} \longrightarrow H_2S \qquad (4)$$

ปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันแบบดิสซิมิเลชันสามารถเกิดขึ้นได้ในหลายสภาวะในสิ่งแวดล้อม แต่ข้อจำกัดของปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันนี้มักเกิดจากปัญหาการขาดแคลนแหล่งของคาร์บอนหรือสารตั้งต้นมากกว่าปัญหาการขาดแคลนซัลเฟตซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาเอง

ปฏิกิริยาดีซัลเฟอเรชัน (Desulfuration)

ปฏิกิริยาดีซัลเฟอเรชันคือ ปฏิกิริยาที่เปลี่ยนแปลงสารประกอบอินทรีย์ไปเป็นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ดังแสดงในสมการ ในสมการที่ (5) ถ้าสารปนเปื้อนอยู่ในรูปอินทรีย์แต่มีสารซัลเฟอร์เป็นส่วนประกอบและถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ จะทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นได้

$$R\text{-}SH \longrightarrow H_2S \qquad (5)$$

ปฏิกิริยาโฟโตโทรฟิกออกซิเดชัน (Phototrophic oxidation)

ปฏิกิริยาโฟโตโทรฟิกออกซิเดชัน คือ ปฏิกิริยาที่เปลี่ยนแปลงแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นเม็ดซัลเฟอร์และในที่สุดเป็นซัลเฟต (สมการที่ 6)

$$H_2S \longrightarrow S^0 \longrightarrow SO_4^{2-} \qquad (6)$$

ปฏิกิริยานี้ยังไม่ได้รับความสนใจมากนักรวมทั้งยังไม่พบว่ามีบทบาทสำคัญต่อการย่อยสลายสารปนเปื้อนในระบบบำบัดน้ำเสีย

ปฏิกิริยาการหายใจโดยใช้เม็ดซัลเฟอร์เป็นตัวรับอิเล็กตรอน

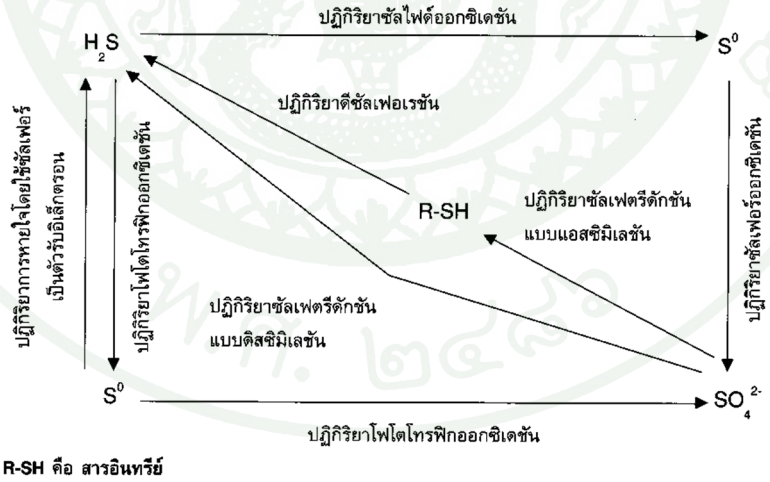
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปฏิกิริยาการหายใจโดยใช้เม็ดซัลเฟอร์เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (Sulfur respiration) คือ ปฏิกิริยาที่ใช้เม็ดซัลเฟอร์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนและเปลี่ยนเป็นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (สมการที่ 7) ปฏิกิริยานี้จะมีการเกิดคล้ายกับปฏิกิริยาที่มีการใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแบบที่เรียกว่า Oxidative respiration (สมการที่ 8) ยกเว้นผลผลิตที่จะได้แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์แทนที่จะเป็นน้ำ เหมือนกับการใช้แก๊สออกซิเจนเป็นตัวรับในการหายใจแบบออกซิเจน

$$\text{Substrate} + S^0 \longrightarrow CO_2 + H_2S \quad (7)$$

$$\text{Substrate} + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O \quad (8)$$

สรุปได้ว่าปฏิกิริยาทั้ง 7 ปฏิกิริยาของวัฏจักรซัลเฟอร์มีความสำคัญแตกต่างกันในแต่ละสิ่งแวดล้อมหรือการนำไปใช้ประโยชน์ ส่วนในแง่ของการบำบัดน้ำเสียนั้นปฏิกิริยาที่ได้รับความสนใจอย่างมาก คือปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันแบบดิสซิมิเลชันและปฏิกิริยาดีซัลเฟอเรชันเพราะเป็นปฏิกิริยาที่สามารถทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนล้มเหลวได้ ดังนั้นในการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยานี้จึงมีอยู่มากมายเพื่อเป็นการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวไม่ให้เกิดขึ้น (สุบัณฑิต, 2548)



ภาพที่ 13 วัฏจักรซัลเฟอร์

ที่มา: สุบัณฑิต (2548)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

10.3 ซัลเฟต

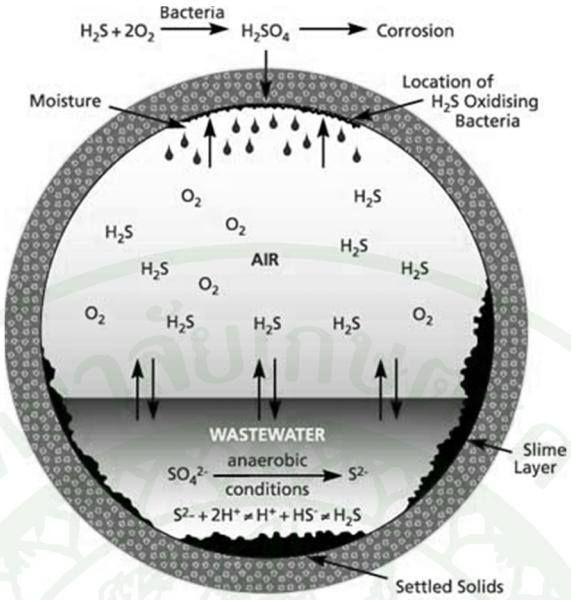
ซัลเฟตพบอยู่ทั่วไปในน้ำธรรมชาติตั้งแต่จำนวน 2-3 มิลลิกรัมต่อลิตร จนกระทั่งเป็น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำล้างจากเหมืองต่างๆจะพบซัลเฟตที่เกิดจากการออกซิเดชันของซัลไฟด์เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังพบซัลเฟตในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ด้วยเหตุนี้จึงทำให้น้ำธรรมชาติที่ถูกทำให้สกปรกโดยน้ำทิ้งเหล่านี้จะมีซัลเฟตมากไปด้วย ซึ่งซัลเฟตถ้ามีในน้ำดื่มจำนวนมากก็จะก่อให้เกิดการระบายท้องแก่ผู้บริโภคแก่ผู้บริโภค (กรรณิการ์, 2549) ดังนั้น U.S. Public Health Service จึงแนะนำว่า น้ำที่จะใช้ดื่มไม่ควรมีซัลเฟตเกิน 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ทางด้านอุตสาหกรรม ซัลเฟตก็เข้ามามีบทบาทสำคัญเพราะเป็นตัวที่ทำให้เกิดตะกรันในหม้อน้ำ และใน heat exchanger นอกจากนี้ซัลเฟตยังเป็นตัวก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับกลิ่นและการกัดกร่อนในท่อน้ำโสโครก เนื่องจากปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ภายใต้สภาวะ anaerobic

ในกรณีที่น้ำเสียจากบ้านเรือนมีอุณหภูมิสูง มีซัลเฟตมาก และเวลาที่กักเก็บในท่อน้ำโสโครกนาน จะเกิดปัญหาการกัดกร่อนของท่อน้ำส่วนบน เรียกว่า crown corrosion ปัญหานี้เกี่ยวข้องกับการรีดักชันของซัลเฟตไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ ปกติไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อละลายน้ำจะได้กรดอ่อน (อ่อนกว่ากรดคาร์บอนิก) ดังนั้นจะมีผลในการกัดกร่อนท่อคอนกรีตน้อยมาก อย่างไรก็ตาม crown corrosion ก็เกิดขึ้นโดยมีไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นตัวการทางอ้อม

ในท่อน้ำโสโครกซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบกำจัดจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวะเกิดขึ้นตลอดเวลา ซึ่งขบวนการนี้ต้องการออกซิเจน ถ้าออกซิเจนจากการเติมอากาศในท่อไม่พอ ก็จะเกิดการรีดักชันของซัลเฟตขึ้นได้เป็นซัลไฟด์ ที่พีเอชของน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนเป็นส่วนใหญ่ของ S^{2-} จะถูกเปลี่ยนไปเป็น H_2S บางส่วนจะขึ้นไปอยู่ในบรรยากาศเหนือน้ำเสียในท่อ ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายใดๆ ถ้าผนังท่อแห้งและมีการระบายอากาศที่ดี ในท่อที่ระบายอากาศไม่ดีที่ผนังและส่วนบนของท่อจะมีความชื้นเกาะอยู่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะละลายในน้ำเหล่านี้แต่ก็ยังไม่เกิดอะไรขึ้น ข้อสำคัญคือในน้ำเสียเหล่านี้จะมีแบคทีเรียซึ่งสามารถออกซิไดส์ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นกรดซัลฟิวริก เนื่องจากสภาวะเหนือน้ำโสโครกในท่อเป็น aerobic (ภาพที่ 14) แบคทีเรียเหล่านี้จะออกซิไดส์ H_2SO_4 ดังนี้

$$H_2S + 2O_2 \xrightarrow{\text{Aerobic bacteria}} H_2SO_4$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 14 การเกิด H_2S และ ‘Crown” corrosion ในท่อน้ำโสโครก

ที่มา: กรรณิการ์(2549)

10.4 แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้ มีความเป็นพิษสูง เป็นสารประกอบในสถานะแก๊สมีกลิ่นเหมือนไข่เน่าจึงมีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่าแก๊สไข่เน่าแก๊สนี้สามารถวัดในลมหายใจของมนุษย์ที่เจือจางประมาณ 0.002 ppm. (Gregg, 1966) ก๊าซนี้สามารถละลายน้ำได้ถึง 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ (atm.) ความสามารถในการละลายน้ำของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ คือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1 กรัมจะละลายอยู่ในน้ำ 187 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส (Windholz, 1976) ส่วนความสามารถในการละลายในแอลกอฮอล์ละลายได้ 94.3 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และที่มีอีเธอร์ละลายได้ 48.5 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และสามารถละลายในกลีเซอรอลได้

ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นผลจากการย่อยสลายทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นปฏิกิริยาทางชีวภาพที่เกิดจากสภาพที่ไร้อากาศ เป็นสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อน ทั้งสารประกอบซัลเฟอร์อินทรีย์ และซัลเฟตอนินทรีย์ โรงงานอุตสาหกรรมหลายชนิดได้ปล่อยของ

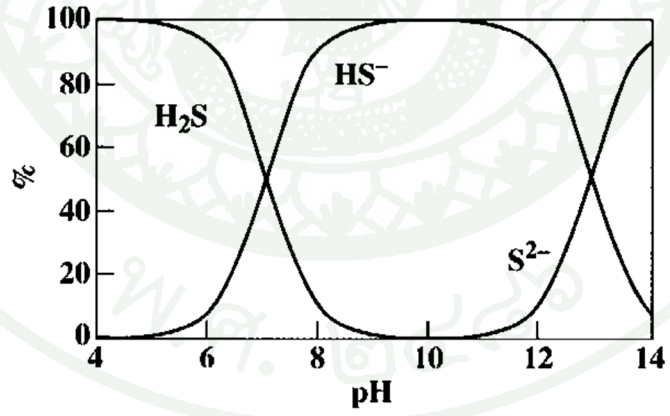
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เสียพวกซัลไฟด์ออกมา เช่น โรงงานฟอกหนัง โรงงานกระดาษ โรงงานเคลือบไม้ และโรงงานผลิตก๊าซ การย่อยสลายของน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ สาหร่ายและพวกอินทรีย์ในธรรมชาติต่าง ๆ ที่หมักหมมล้วนเป็นแหล่งของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่สำคัญ เมื่อไฮโดรเจนซัลไฟด์รวมตัวกับน้ำ จะทำปฏิกิริยาให้ไฮโดรเจนไอออนกับ HS^- และ HS^- จะแตกตัวเป็นซัลไฟด์ไอออน (S^{2-}) ดังสมการ คือ

$$H_2S \rightleftharpoons HS^- + H^+$$

$$HS^- \rightleftharpoons S^{2-} + H^+$$

ที่ pH 9 ประมาณ 99% เป็นซัลไฟด์ในรูปของ HS^- ที่ pH 7 จะอยู่ในรูปของ HS^- และ H_2S อย่างละเท่าๆกัน และ pH 5 ประมาณ 99% เป็นซัลไฟด์ในรูปของ H_2S (ภาพที่ 15) ซัลเฟตถูกออกซิไดส์โดยจุลินทรีย์ในระบบธรรมชาติ หรือสิ่งมีชีวิตที่ออกซิไดส์เป็นสารประกอบซัลเฟอร์ นี้เป็นสาเหตุที่ตรวจพบว่าความเป็นพิษของจำนวนเพียงเล็กน้อยก็มีผลต่อปลาและสิ่งมีชีวิตในน้ำได้ อย่างไรก็ตาม การอธิบายระดับของอันตรายโดยซัลไฟด์ต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ pH และออกซิเจนละลายน้ำ ที่ pH ต่ำ ๆ เกณฑ์คุณภาพน้ำจึงกำหนดให้มีไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 2 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับปลาและสิ่งมีชีวิตทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม



ภาพที่ 15 ผลของพีเอชต่อสมดุลของ H_2S และ S^{2-}

ที่มา: Sawyer (2003)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แหล่งของไฮโดรเจนซัลไฟด์

แหล่งที่มาของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในแหล่งน้ำ มักจะมาจากกระบวนการย่อยสลายสารโดยธรรมชาติ น้ำเสีย และของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งโดยปกติในแหล่งน้ำธรรมชาติมักจะมีซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) อยู่มากและสามารถถูกรีดิวซ์ได้ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน โดยอาศัยแบคทีเรียสกุล *Desulfovibrio* ซึ่งมักจะใช้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) จาก lactate และ pyruvate เป็นแหล่งพลังงาน เกิดเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์

ไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดจากการย่อยสลายซากของสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีซัลเฟอร์ (S) เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนบางชนิด เช่น ซิสเตอีน (cysteine) เมทไธโอนีน (methionine) ซิสติน (cystine) รวมทั้งวิตามินและโคเอนไซม์ (co-enzyme) บางชนิด (Funchel and Blackbun, 1979) ในการย่อยสลายพวกซากอินทรีย์จะมีค่า turn over ของซัลไฟด์เพียง 4 เปอร์เซ็นต์ (Jørgensen, 1977) โดยแบคทีเรียสกุล *Escherichia* และ *Proteus* ช่วยย่อยสลายภายใต้สภาพที่ไม่มีออกซิเจนจะได้ซัลไฟด์ (S^{2-}) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น นอกจากนั้นมักพบไฮโดรเจนซัลไฟด์ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง ในบริเวณที่อยู่ใกล้กับแหล่งที่มีสารประกอบซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น พวกไพไรท์ (pyrite) (FeS) ยิปซั่ม (gypsvum) ($CaSO_4.2H_2O$) และซัลไฟด์ของสารทองแดง (Cu) chalcopyrite bornite ซัลไฟด์ของสังกะสี เช่น sphalerrite ซัลไฟด์ของตะกั่ว เช่น Galena ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ภายใต้สภาพที่ไม่มีออกซิเจนก็จะได้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกมา (Jørgensen, 1977; Nurnerg, 1984)

จากการศึกษาของ Dunnettle et al. (1985)และ Serokin (1968) กล่าวว่ามักพบไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในแหล่งน้ำที่อยู่ชั้นล่างสุดและในตะกอนดินในปริมาณที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากบริเวณนี้มีพวกซากสิ่งมีชีวิตและอนินทรีย์สารมากและไม่ค่อยมีสารที่สามารถออกซิไดซ์ได้ จึงมักต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียช่วยย่อยสลายเท่านั้น ซึ่ง Novazhilova and Berezina (1966) พบว่าจำนวนแบคทีเรียที่ใช้ในการรีดิวซ์ซัลเฟอร์นั้นจะมีอยู่ในน้ำน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับในตะกอนดินโคลนและปริมาณของแบคทีเรียจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลด้วยคือ ในฤดูร้อนจะพบว่ามีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในตะกอนโคลนมากกว่าในฤดูใบไม้ผลิ ซึ่งอาจเกิดจากหลังกระบวนการที่เกิดขึ้นในฤดูหนาว ซึ่งมักจะมีกระแสลมและพายุมาก ทำให้แหล่งน้ำเกิดการหมุนเวียนไฮโดรเจนซัลไฟด์จึงมีโอกาสฟุ้งกระจายในมวลน้ำ ทำให้สัตว์น้ำตายเป็นจำนวนมากและบางส่วนของก๊าซไข่เน่านั้นจะระเหยออกสู่บรรยากาศได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความเข้มข้นต่ำที่สุดของกลิ่นไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่รับรู้ได้

ความเข้มข้นของกลิ่นแสดงอยู่ในรูปมวลต่อปริมาตร มีหน่วยเป็นส่วนในล้านส่วน (มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถรับรู้ได้ภายใต้สภาวะหนึ่ง เรียกว่า Threshold Odor (TO) ซึ่งสารประกอบต่าง ๆ ที่มีกลิ่นจะมีค่า TO แตกต่างกันและเปลี่ยนแปลงไปตามผู้รับกลิ่นและสภาวะแวดล้อม (Dague, 1972) ในกรณีของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่า TO เท่ากับ 0.0011 มิลลิกรัมต่อลิตร (Cheremisinoff, 1995)

การเกิดกลิ่นไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยจุลินทรีย์

การเกิดกลิ่นไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ว่าจะเกิดมาจากแหล่งกองขยะ น้ำเสีย คอกสุกร บ่อกักน้ำเสีย ฯลฯ เกิดได้โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

1) การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยเฉพาะโปรตีนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน โดยแบคทีเรียพวก *proteolytic bacteria* ได้แก่ *Proteus*, *Escherichia* และ *Pseudomonas* เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ดีซัลเฟอเรชัน แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็น facultative anaerobe ดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน แต่สำหรับการสร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเกิดในสภาวะที่ไม่มีอากาศเท่านั้น (อำพิน, 2540)

2) การรีดิวซ์ซัลเฟตภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน การรีดิวซ์ซัลเฟตที่พื้นบ่อเกิดจากกิจกรรมของแบคทีเรียในขณะที่ไม่มีออกซิเจน โดยสามารถใช้ออกซิเจนในซัลเฟตสำหรับการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ กล่าวคือ ใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเลคตรอน ผลคือ ซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์ให้เป็นซัลไฟด์ ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเมื่อไม่มีตัวรับอิเลคตรอนอื่น ๆ (Heukelekian, 1948) เช่น ออกซิเจนหรือไนเตรทด้วย แต่ถ้ามีตัวรับอิเลคตรอนทั้งสามชนิดอยู่ด้วยกันแล้ว ลำดับที่จะถูกใช้ คือ ออกซิเจน ไนเตรทและซัลเฟตตามลำดับแบคทีเรียที่มีความสามารถในการรีดิวซ์ซัลเฟต คือ พวก sulfatereducing bacteria เช่น *Desulfovibrio*, *Desulfomonas*, *Desulfotomaculum* โดยมี D*esulfovibrio desulfuricans* เป็นแบคทีเรียที่พบบ่อยที่สุดและการเกิดซัลไฟด์โดยวิธีนี้เป็นกลไกที่สำคัญที่สุดของ การเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสีย (Dague, 1972)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลเสียของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก่อให้เกิดผลเสีย คือ

1) ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่น เนื่องจากมีกลิ่นคล้ายแก๊สไข่เน่า ระดับความเข้มข้น ของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่รับรู้ได้มีค่าต่ำมาก คือ 0.0011 มิลลิกรัมต่อลิตร (Cheremisinoff, 1995)

2) เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ในปริมาณความเข้มข้นที่สูงขึ้นจะทำให้ประสาทรับกลิ่นเกิดอาการล้า ในที่สุดกลิ่นเหม็นจึงหายไป เมื่อมนุษย์ได้รับแก๊สนี้เข้าไปจะทำให้หมดสติและถึงตายอย่างรวดเร็วถ้าในบรรยากาศมีแก๊สนี้อยู่ในปริมาณ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำแม้ในปริมาณน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ระดับความเป็นพิษยังเปลี่ยนแปลงได้ตามพีเอช อุณหภูมิ และการแตกตัวของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์เอง

3) ทำให้เกิดการกัดกร่อนของท่อคอนกรีตหรืออุปกรณ์ที่ทำจากโลหะ เนื่องจากเมื่อแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ถูกออกซิไดซ์จะเกิดเป็นกรดซัลฟูริกซึ่งมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนและเมื่อกรดนี้ถูกชะลงสู่แหล่งน้ำจะเกิดสภาวะกรดที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนั้น (อำพิน, 2540)

4) ทำให้แหล่งน้ำมีสภาพไม่น่าดูเพราะเกิดการตกตะกอนสีดำที่คงตัวของโลหะซัลไฟด์ เนื่องจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำปฏิกิริยากับโลหะ เช่น Fe^{2+}, Pb^{2+} และ Zn^{2+} (ลลิตา, 2550)

การควบคุมกลิ่นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

วิธีการที่ใช้ในการควบคุมกลิ่นต้องพิจารณาร่วมกับปัจจัยอื่น ๆ ณ จุดที่มีกลิ่น กล่าวคือ ปัจจัยทางเคมี ฟิสิกส์และชีววิทยาและการเลือกวิธีการควบคุมนั้นจำเป็นต้องศึกษาลงไปในรายละเอียดของการเกิดกลิ่นจึงจะสามารถเลือกวิธีที่เหมาะสมได้ (Hartman, 1976) และBoon (1995) ได้กล่าวไว้ว่า ปัจจัยต่าง ๆ ที่ต้องพิจารณาในการเลือกวิธีที่ดีที่สุด คือ สภาพภูมิอากาศท้องถิ่น วิธีการบำบัด ประสบการณ์ ความสามารถของผู้ปฏิบัติงาน ระยะเวลาและความถี่ที่เกิดกลิ่นแต่ละชนิดและค่าใช้จ่ายในการ แก้ปัญหา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีปฏิบัติในการควบคุมกลิ่น แบ่งได้เป็น 3 วิธีใหญ่ ๆ คือ วิธีทางเคมี ฟิสิกส์และชีววิทยา โดยอาจใช้แต่เพียงวิธีใดวิธีหนึ่งหรืออาจใช้หลายวิธีร่วมกันขึ้นกับความเหมาะสม

วิธีทางเคมีโดยการใช้สารเคมีในการควบคุมกลิ่นนั้นจะต้องใช้สารเคมีที่ไม่รบกวนต่อระบบการบำบัดทางชีววิทยาของโรงบำบัดน้ำเสียและต้องไม่เป็นพิษต่อคน ปลา พืชและสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ การบำบัดโดยใช้สารเคมีนี้โดยทั่วไปเสียค่าใช้จ่ายมากและมีความยุ่งยาก (Santry, 1966) สารเคมีที่ใช้ในการควบคุมกลิ่น ได้แก่ ไนเตรท

ส่วนวิธีทางชีววิทยาเป็นการควบคุมกลิ่นของไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยอาศัยการทำงานของแบคทีเรียซึ่งแบ่งได้ 2 กรณี คือ แบคทีเรียที่เติมลงไปจะใช้แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นเป็นแหล่งของพลังงานในการเจริญซึ่งเป็นการกำจัดกลิ่นและกรณีที่สอง คือ การเติมแบคทีเรียบางชนิดซึ่งเป็นปฏิปักษ์ต่อแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์ เช่น ทำให้เกิดการแก่งแย่งกัน การสร้างสารพิษเป็นต้น จัดเป็นการป้องกันการเกิดกลิ่น แบคทีเรียที่ใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นแหล่งของพลังงานในการเจริญสามารถแบ่งแบคทีเรียเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแบคทีเรียสังเคราะห์แสง (purple sulfur bacteria, greensulfur bacteria และ purple nonsulfur bacteria) และกลุ่ม colorless sulfur bacteria

11. แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria, SRB)

แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนชนิดเด็ดขาดต้องการสภาวะไม่ใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโต จัดอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียชนิดเคโมเฮเทอโรโทรป (Chemoheterotroph) ดำรงชีพและเจริญเติบโตโดยได้รับพลังงานจากปฏิกิริยาทางเคมีในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนและสารให้อิเล็กตรอน เช่น กรดไขมันระเหยหรือแอลกอฮอล์ ลักษณะเด่นของแบคทีเรียกลุ่มนี้ คือ การใช้สารประกอบอนินทรีย์ของซัลเฟอร์บางชนิดเช่น ซัลเฟต, ซัลไฟด์ หรือไธโอซัลเฟต (ตารางที่ 7) เป็นสารรับอิเล็กตรอนในการย่อยสลายสารอาหาร แล้วเปลี่ยนสารประกอบซัลเฟอร์นั้นให้อยู่ในรูปซัลไฟด์แทน ผลผลิตที่สำคัญ คือ แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ขั้นตอนนี้ถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศเช่นเดียวกันกับขั้นตอนการสร้างมีเทน ดังนั้นจึงมักพบแบคทีเรียชนิดนี้ร่วมกับแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนในระบบไม่ใช้อากาศที่ใช้บำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟต ตัวอย่างแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตแสดงได้ดังภาพที่ 16

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 สารประกอบซัลเฟอร์ (สารรับอิเล็กตรอน) สำหรับแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต

สารรับอิเล็กตรอน	สภาวะออกซิเดชัน
<u>สารประกอบที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ</u>	
Organic S (R-SH)	-2
Sulfide (H_2S)	-2
Elemental sulfur (S0)	0
Thiosulfate ($S_2O_3^{2-}$)	+2 (average per S)
Tetrathionate ($S_4O_6^{2-}$)	+2.5 (average per S)
Sulfur dioxide (SO_2)	+4
Sulfite (SO_3^{2-})	+4
Sulfur trioxide (SO_3)	+6
Sulfate (SO_4^{2-})	+6

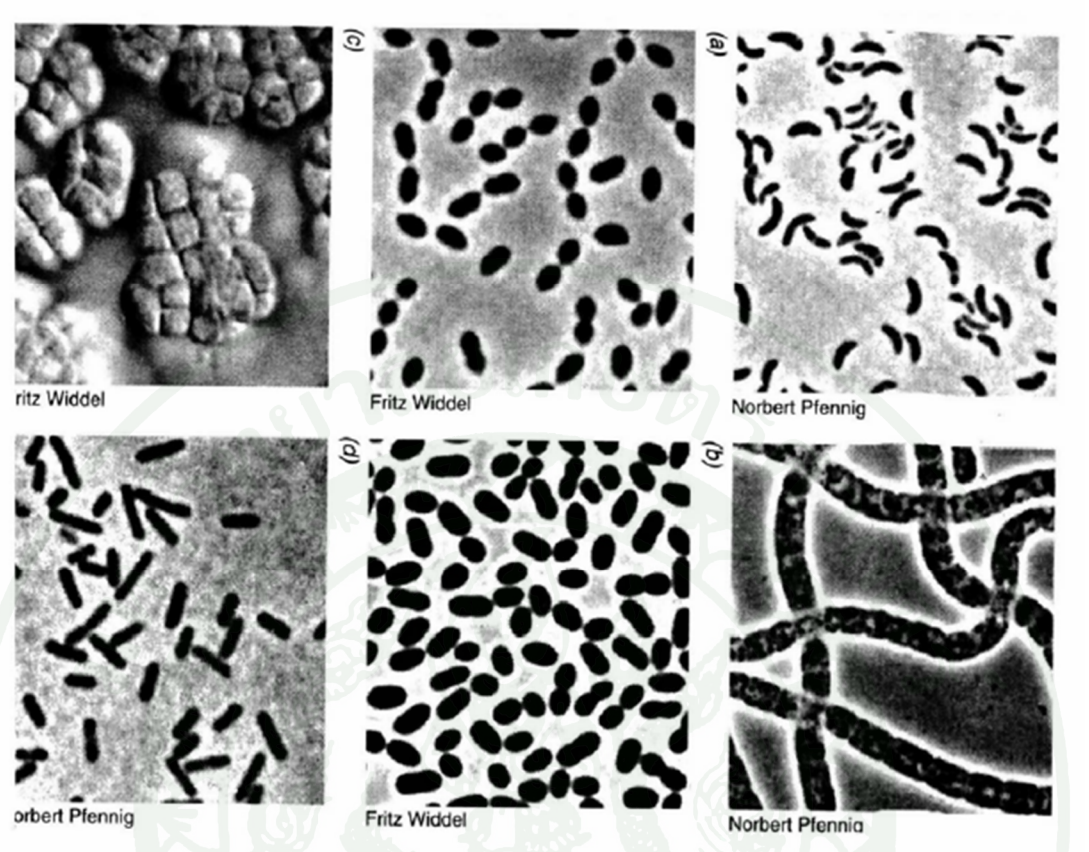
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2546)

แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ตามความสามารถในการออกซิไดส์สารอินทรีย์เพื่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโต ดังนี้

1) แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตชนิดย่อยสลายอินทรีย์ได้ไม่สมบูรณ์ (Incompletely Oxidizing Sulfate Reducing Bacteria, I-SRB) แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้สารอาหาร เช่น กรดแลกติก กรดไพรูวิก เอทานอล หรือกรดไขมันบางชนิด โดยสารอินทรีย์ที่เหลือจากการย่อยสลายจะเป็นอะซิเตท เช่น แบคทีเรียในกลุ่ม *Desulfovivrio*, *Desulfomonas*, *Desulfotomaculum* และ *Desulfobulbas* เป็นต้น

2) แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตชนิดย่อยสลายอินทรีย์ได้สมบูรณ์ (Completely Oxidizing Sulfate Reducing Bacteria, C-SRB) สารอาหารที่ใช้จะเป็นกรดไขมันโดยเฉพาะกรดอะซีติกและถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์จนกลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียกลุ่มนี้ได้แก่ *Desulfococcus*, *Desulfosarcrina* และ *Desulfonema*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 16 ตัวอย่างภาพขยายของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต

ที่มา: Widdel (1988)

Heukelekian (1948) ได้ทำการศึกษาและสรุปว่าในน้ำที่ไหลซึ่งจะมีปริมาณออกซิเจนสูงค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์จะสูงตามไปด้วยโอกาสที่จะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์เนื่องจากแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตจึงมีน้อยมาก ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ที่จุลินทรีย์พวกที่รีดิวซ์ซัลเฟตจะเจริญได้ดีมีค่า -200 ถึง -300มิลลิโวลต์ (Eliassen, 1949; Boon, 1995) ส่วนพีเอชที่เหมาะสมต่อการรีดิวซ์ซัลเฟตอยู่ในช่วง 6.5-8.0

จากการศึกษาได้มีการยอมรับกันอย่างกว้างขวางว่า การตกทับถมกันของตะกอนและเมือกของแบคทีเรียในท่อน้ำทิ้งเป็นที่เกิดของซัลไฟด์ (Heukelekian, 1948; Santry,1966) ในบริเวณบ่อเก็บรวบรวมและบำบัดน้ำเสีย แบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตสามารถเจริญและสร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้เนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์และมีตัวรับอิเลคตรอน คือ ซัลเฟตจากน้ำเสียไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สร้างขึ้นจะซึมผ่านเข้าไปในน้ำเสียที่ไหลอยู่แล้วทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของน้ำลดลงและถ้าน้ำเสียที่ไหลนี้ไม่ได้รับการเติมอากาศเลยและมีอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 21-32 องศาเซลเซียส จะเกิดสภาวะที่ทำให้แบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตเจริญขึ้นมาอย่างมากมาย ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้น แม้ในบ่อน้ำเสียที่มีการให้อากาศก็มีการตกตะกอนทับถมกันเป็นจำนวนมาก เมื่อมีการกวนน้ำในบ่อจะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของกลิ่นออกมาจากตะกอนจนถึงระดับที่เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นขึ้นได้เช่นกัน สภาวะแวดล้อมอื่นที่มีผลต่อแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต เช่น ค่าพีเอช โดยพบว่าแบคทีเรียพวกนี้สามารถปรับตัวเจริญและสร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์อย่างรวดเร็วในช่วงพีเอชต่ำกว่า 6 จนถึง 9 เป็นอย่างน้อย ส่วนค่าพีเอชที่เหมาะสมมีค่าระหว่าง 7.5-8.0 (Dague, 1972)

12. การวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ไอออนด้วยวิธีโพเทนทิออเมทรี

โพเทนทิออเมทรีเป็นเทคนิควิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้าที่เซลล์เคมีไฟฟ้าเป็นชนิดเซลล์กัลวานิก คือ สารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์เกิดปฏิกิริยาได้เองที่ผิวของขั้วไฟฟ้าโดยไม่ต้องการให้มีศักย์ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานภายนอก แล้ววัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ได้แก่ ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงและขั้วไฟฟ้าทำงานหรือขั้วไฟฟ้าชี้บอก ที่จุ่มอยู่ในสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์ ณ ภาวะสมดุลของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้น เป็นสภาวะที่แทบไม่มีการไหลของกระแสในวงจรเลย แผนภาพเซลล์เคมีไฟฟ้าของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโพเทนทิออเมทรี เขียนได้ดังนี้

ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง/สะพานเกลือ/สารละลายที่ต้องการ/ขั้วไฟฟ้าทำงานหรือขั้วไฟฟ้าชี้บอก

สมการแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัด (E_{obs} หรือ E_{cell}) เขียนได้ดังนี้

$$E_{obs} \text{ หรือ } E_{cell} = E_{ind} - E_{ref}$$

โดย E_{ind} คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้าทำงานซึ่งเป็นไปตามสมการเนินสต์

E_{ref} คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง เช่น ขั้วคาโลเมลอิ่มตัว มีค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิงเท่ากับ 0.242 V

ขั้วไฟฟ้าทำงานที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ คือ ขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์ (Silver-Sulfide Selective Electrode)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์จัดเป็นขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะไอออน (ion selective electrode, ISE) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นเยื่อที่เป็นสารประกอบซิลเวอร์ซัลไฟด์ (Ag_2S) ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยที่ Ag_2S เป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้น้อยมาก มีค่าคงที่ของการละลายต่ำ (K_{sp} ของ $Ag_2S = 6.0 \times 10^{-50}$) มีความคงตัวสูง ทนต่อสารพวกตัวออกซิไดส์และตัวรีดิวซ์ ทำเป็นแผ่นเยื่อได้โดยการอัดสารประกอบ Ag_2S ภายใต้ความดันสูงให้มีลักษณะแผ่นเยื่อบางๆ

แผ่นเยื่อ Ag_2S สามารถเจาะจงวิเคราะห์ได้ทั้ง Ag^+ และ S^{2-} ไอออน โดย Ag_2S มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า S^{2-} เป็นไอออนลบที่อยู่กับที่ (fixed anionic site) และ Ag^+ เป็นไอออนที่เคลื่อนที่ (mobile ion) ภายในแผ่นเยื่อจึงเป็นไอออนที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนระหว่าง Ag^+ ไอออนภายในแผ่นเยื่อกับภายนอกแผ่นเยื่อ ดังนั้นจึงจัดขั้วไฟฟ้านี้เป็นขั้วไฟฟ้าที่เจาะจงกับ Ag^+ ไอออน (Ag-ISE)

ศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้เกิดขึ้นจากการแลกเปลี่ยน Ag^+ ไอออน ระหว่างแผ่นเยื่อกับสารละลายตัวอย่าง เขียนสมการเนินสต์ ได้ดังนี้

$$E_{cell} = K + 0.05916 \log [Ag^+]$$

และจากสมการการละลายของ Ag_2S และค่า Ksp เขียนได้ดังนี้

จะได้ $$[Ag^+] = \sqrt{\frac{K}{[S^{2-}]}}$$

สามารถนำไปหาความเข้มข้นของ S^{2-} ได้ดังต่อไปนี้

$$E_{cell} = K + 0.05916 \log \sqrt{\frac{K}{[S^{2-}]}}$$

$$E_{cell} = K + \frac{0.05916}{2} \log K_{sp} - \frac{0.05916}{2} \log [S^{2-}]$$

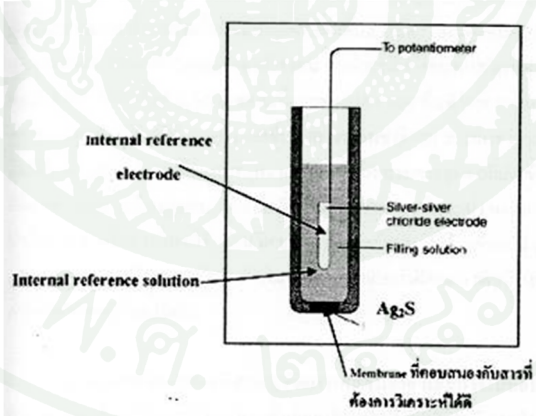
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$E_{cell} = K' - \frac{0.05916}{2} \log [S^{2-}]$$

โดย $$K' = K + \frac{0.05916}{2} \log K_{sp}$$

จะเห็นว่าค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออนด้วย ดังนั้น สามารถนำขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์ ไปตรวจวัดหาปริมาณได้ทั้ง Ag^{+} และ S^{2-} ไอออน โดยไม่ตอบสนองต่อไอออนอื่นๆ ในการตรวจวัดหาปริมาณซัลไฟด์ไอออนจะต้อง มีการเติมสารละลาย Alkaline Antioxidant Reagent (AAR) เพื่อยับยั้งไม่ให้แบคทีเรียมาทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์ไอออน

การวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ไอออนในสารตัวอย่าง ทำได้โดยนำสารละลายตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนการเติมสารเช่นเดียวกันกับสารละลายมาตรฐาน และนำไปวัดค่าศักย์ไฟฟ้าเช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐาน นำค่าศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้มาเทียบหาความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออนจากกราฟมาตรฐานที่เตรียมได้ หรือเทียบกับสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน



ภาพที่ 17 ขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์

ที่มา: คณิตา (2542)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

13. การวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟต

ในที่นี้ใช้วิธีวัดความขุ่น (Turbidimetric method) เป็นการวัดความขุ่นของน้ำโดยการให้แสงสีขาวส่องผ่านตัวอย่างน้ำแล้วเปรียบเทียบแสงที่ส่องผ่าน Standard Suspension โดยวิธีนี้จะเป็นวิธีการที่ไว และใช้กันมากโดยเฉพาะตัวอย่างที่มีซัลเฟตน้อย เครื่องมือวัดความขุ่นที่อาศัยหลักการนี้ เช่น Jackson Candle Turbidimeter ซึ่งเป็นเครื่องมือมาตรฐานสำหรับการวัดความขุ่น ประกอบด้วย Calibrated Glass Tube, Holder และ Candle Jackson Glass Tube เป็นหลอดแก้วทรงกระบอกก้นแบน ข้างหลอดมีขีดบอกความสูงเป็นเซนติเมตร ระยะจากก้นหลอดถึงขีดสูงสุดของตัวอย่างน้ำในหลอดแก้วที่ทำให้แสงของเปลวเทียนมาตรฐานหายไปพอดี เรียกว่า Light Path จากค่าที่ได้นี้นำไปเปรียบเทียบอ่านค่าความขุ่นของน้ำนั้นได้จากตารางมาตรฐาน ส่วน Standard Candle ทำจากขี้ผึ้งกับไขปลาวาฬ มีอัตราการเผาไหม้ 114-120 เกรนต่อชั่วโมง หน่วยที่วัดความขุ่นโดยวิธีนี้ คือ Jackson Turbidity Unit (JTU)

14. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุรศักดิ์ (2540) ได้ทำการศึกษาลักษณะและปริมาณน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่าน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี มีค่าเฉลี่ยของ BOD_5 165.4 mg/l, soluble BOD_5 142.2 mg/l, COD 247.2 mg/l, soluble COD 206.1 mg/l, SS 31.8 mg/l, TKN 27.8 mg/l, NH_3-N 23.0 mg/l, T-PO_4^{3-} 4.0 mg/l, $Temp_W$ 27.6 ^oC และ pH 7.3 ค่า BOD_5/COD เท่ากับ 0.669 อัตราส่วน BOD:N:P เท่ากับ 100:6.81:2.42 ปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยวันละ 1,731.2 ลูกบาศก์เมตร

เสกสรรค์ (2543) ได้ทำการศึกษาการสะสมของตะกอนน้ำเสียในระบบรวบรวมน้ำเสียและระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย จังหวัดเพชรบุรี พบว่าในบ่อรวมน้ำเสียจากเขตเทศบาล มีปริมาณตะกอน 0.42 มิลลิลิตรต่อลิตร น้ำเสียเมื่อผ่านระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย พบว่า บ่อตกตะกอน, บ่อผึ่งที่ 1, บ่อผึ่งที่ 2, บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ มีการตกตะกอนปริมาณเฉลี่ยทั้งปี 0.57, 3.60, 4.55, 3.32 และ 4.13 มิลลิลิตรต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งตะกอนสะสมในบ่อตกตะกอน, บ่อผึ่งที่ 1, บ่อผึ่งที่ 2, บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ ความสูงเท่ากับ 5.88, 13.80, 16.32, 11.52 และ 11.64 เซนติเมตรต่อปี ตามลำดับ ปริมาณตะกอนที่สะสมในระบบบ่อบำบัดน้ำเสียจะผันแปรไปตามหลายปัจจัยมาเกี่ยวข้อง อาทิ แพลงก์ตอน และของแข็งแขวนลอย เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัณณิภา (2547) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่ความลึกต่างระดับในระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี โดยศึกษาคุณภาพน้ำที่ความลึกทั้ง 3 ระดับ ได้แก่ ระดับผิวน้ำ ระดับกึ่งกลางชั้นน้ำ และระดับเหนือพื้นท้องน้ำ ทำการเก็บข้อมูล 4 เวลา คือ 6.00 น. 11.00 น. 16.00 น. และ 23.00 น. ติดต่อกัน 7 วัน พบว่า ในระบบบำบัดแต่ละระดับความลึก มีอุณหภูมิมีค่าเฉลี่ย 31.7, 31.1 และ 30.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พีเอชมีค่าเฉลี่ย 8.44, 8.14 และ 7.88 ตามลำดับ และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าเฉลี่ย 1.93, 1.45 และ 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ มีค่าลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น ค่าบีโอดีในรอบวัน บริเวณโรงสูบน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 81.82 มิลลิกรัมต่อลิตร และในบ่อบำบัดที่ 1 ความลึก 3 ระดับ มีค่าเฉลี่ย 73.31, 74.64 และ 72.22 มิลลิกรัมต่อลิตร ในบ่อบำบัดที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 35.46, 27.17 และ 26.88 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรอบวันบริเวณโรงสูบน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 0.073 มิลลิกรัมต่อลิตร และในบ่อบำบัดแต่ละระดับความลึก มีค่าเฉลี่ย 0.028, 0.034 และ 0.049 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

สุกัญญา (2548) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติบางประการของน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่าน้ำเสียชุมชนมีค่า BOD, COD, TN, NH_4-N, TP, TK, TDS, TSS และ TS ส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 43.6 ± 13.7, 115.2 ± 38.8, 33.5 ± 1.1, 4.0 ± 0.1, 21.0 ± 1.0, 22.0 ± 1.6, 42.9 ± 11.4, 25.9 ± 10.7 และ 455 ± 116.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่า pH ส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 7.5 ± 0.6 มีค่า EC ส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 971.9 ± 113.0 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 5,580 ± 1,420 MPN/ 100 ml

ภมรรัตน์ (2553) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี 3 จุด ได้แก่ สถานีสูบน้ำเสียสะพานเทศบาล สถานีสูบน้ำเสียสะพานพระจอมเกล้า และสถานีสูบน้ำเสียบริเวณสะพานใหญ่ โดยทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและพบว่ามีค่าปริมาณซัลไฟด์ไอออนเท่ากับ 2.03, 3.04 และ 1.05 ตามลำดับ ค่าปริมาณซัลเฟตไอออน เท่ากับ 2.17, 3.01 และ 1.14 ตามลำดับ ค่าบีโอดี เท่ากับ 35.65, 36.56 และ 27.55 ตามลำดับ ส่วนพีเอช มีค่า 6.70, 7.00 และ 6.10 ตามลำดับ

jørgensen (1977) ได้ศึกษาการเกิดสารประกอบซัลไฟด์ในดินจะพบว่าอัตราการเกิดได้รับอิทธิพลจากปริมาณซัลเฟตตลอดจนกระบวนการทางอนินทรีย์เคมีที่ทำให้มีการเปลี่ยนรูปต่างๆของซัลไฟด์ และบทบาทดังกล่าวอาจสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของการย่อยสลายเกิดขึ้นทั้งหมดในดินในเขตใกล้ฝั่งที่มีการสะสมของอินทรีย์สารสูงอีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

1.1 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)

1.2 เครื่องเขย่า (shaker)

1.3 เครื่องมือที่ใช้ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ประกอบด้วย DO-Meter, pH-Meter, Turbidity-Meter, Digital TDS-Meter and EC-Meter

1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง

1.5 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 2 ตำแหน่ง

1.6 เครื่องโพเทนทิออมิเตอร์ที่ต่อกับกับขั้วไฟฟ้าจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์แบบรวม (silver sulfide ion-selective combination Electrode)

1.7 ตู้อบ

1.8 กระดาษกรอง Whatman

1.9 เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. สารเคมี

2.1 แคลเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตโมโนไฮเดรต (Calcium dihydrogen monohydrate, $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$)

2.2 โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl)

2.3 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric: 37% w/w, HCl)

2.4 กลีเซอรอล (Glyceral: 99.5% w/w, $C_3H_8O_3$)

2.5 เอธานอล (Ethanol: 95% w/w, C_2H_5OH)

2.6 แบเรียมคลอไรด์ (Barium chloride, $BaCl_2$)

2.7 โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate, Na_2SO_4)

2.8 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)

2.9 โซเดียมซัลไฟด์ (Sodium sulfide, Na_2S)

2.10 อีดีทีเอ (Ethylenediaminetetra acetic acid di-sodiam salt, $C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$)

2.11 กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid, $C_6H_8O_6$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

3. การวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตด้วยวิธี Turbidimetric method

3.1 การเตรียมสารละลาย

3.1.1 สารละลายแคลเซียมเททราไฮโดรเจนฟอสเฟตไดออโทฟอสเฟตโมโนไฮเดรต 0.01 โมลาร์

ละลายแคลเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตโมโนไฮเดรต (Calcium dihydrogen monohydrate : $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$) 2.52 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ในขวดวัดปริมาตร

3.1.2 สารละลายมาตรฐานซัลเฟตเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ละลายโซเดียมซัลเฟต (ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 5 ชั่วโมง) 1.48 กรัมในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตร

3.1.3 สารละลายมาตรฐานซัลเฟตเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มาปริมาณ 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตร

3.1.4 น้ำยาป้องกันการละลายและการตกตะกอนของแบเรียมซัลเฟต

ก. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ในกรดไฮโดรคลอริก

ละลายโซเดียมคลอไรด์ 120 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 400 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2.5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข. สารละลายกลีเซอรอลในเอธานอล

ผสมกลีเซอรอล 145 มิลลิลิตร กับเอธานอล 295 มิลลิลิตร

นำสารละลายในข้อ ก. และ ข. ผสมกันและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

3.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานซัลเฟต

3.2.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 0, 4, 8, 16 และ 32 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟต 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 0, 1, 2, 4 และ 8 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร เติมน้ำยา ข้อ 3.1.4 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

3.2.2 เทสารละลายแต่ละความเข้มข้นจากข้อ 3.2.1 ใส่บีกเกอร์แต่ละใบ เติมผงแบเรียมคลอไรด์ประมาณ 50 มิลลิกรัม เขย่าประมาณ 10 ครั้ง และวัดความขุ่นในรูปค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร จากนั้นเขียนกราฟมาตรฐาน โดยแกนตั้ง (แกน y) แทนค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้ ส่วนแกนนอน (แกน x) แทนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตในตัวอย่างน้ำ

3.3.1 นำตัวอย่างน้ำแต่ละบ่อ และทุกระดับความลึกมากรองผ่านกระดาษกรอง Whatman จากนั้นปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ผ่านกรองได้ 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร และเติมน้ำยาจากข้อ 3.1.4 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

3.3.2 เทสารละลายจากข้อ 3.3.1 ใส่บีกเกอร์ เติมผงแบเรียมคลอไรด์ 50 มิลลิกรัม เขย่าประมาณ 10 ครั้ง และวัดความขุ่นในรูปค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3.3 ทำแบลงค์โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1 และ 3.3.2 แต่ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่าง

3.4 การวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตในตัวอย่างตะกอนดิน

3.4.1 ขั้นตอนการสกัดทำโดยชั่งตัวอย่างตะกอนดินในแต่ละบ่อ 3.00 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นเติมสารละลายแคลเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตโมโนไฮเดรต 0.01 โมลาร์ 30 มิลลิลิตร นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรอง (ภาพที่ 18) นำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตโดยวิธีการวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างในข้อ 3.3

3.4.2 ทำแบลงค์โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.4.1 ใช้สารละลายแคลเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตโมโนไฮเดรต 0.01 โมลาร์ จำนวน 30 มิลลิลิตรแทนน้ำตัวอย่าง



(ก) (ข)

ภาพที่ 18 การสกัดตะกอนดิน ((ก) การเขย่าตัวอย่างตะกอนดิน และ (ข) การกรองตะกอนดิน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. การวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ด้วยวิธีโพเทนทิออเมทริก (Potentiometric method)

4.1 การเตรียมสารละลาย

4.1.1 สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งผลึกโซเดียมซัลไฟด์ 2.44 กรัม ถ่ายลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นในปริมาณพอเหมาะ เขย่าให้โซเดียมซัลไฟด์ละลาย จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร เขย่าให้เข้ากันแล้วปิดจุก

4.1.2 สารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (alkaline antioxidant reagent: AAR)

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 20 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆเติมกรดแอสคอร์บิก จำนวน 8.75 กรัม และอีดีทีเอ จำนวน 16.75 กรัมลงไป จากนั้นคนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน และเก็บไว้ในที่มืด

4.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานซัลไฟด์

4.2.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากข้อ 4.1.1 10 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน

4.2.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เข้มข้น 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 5, 7 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จากข้อ 4.2.1 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 5, 7 และ 10 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ในแต่ละขวดเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2.3 ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ในแต่ละความเข้มข้นในข้อ 4.2.2 มาอย่างละ 50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ เติมสารละลาย AAR 0.5 มิลลิลิตร และนำไปวัดค่าศักย์ไฟฟ้าด้วยเครื่องโพเทนทิออมิเตอร์ที่ต่อกับขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซัลไฟด์ ดังแสดงในภาพที่ 19 นำค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์มาสร้างกราฟ โดยแกนตั้ง (แกน y) แทนค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ ส่วนแกนนอน (แกน x) แทนค่า $-\log [S^{2-}]$ จะได้กราฟมาตรฐานซัลไฟด์และสมการเชิงเส้นถดถอย



ภาพที่ 19 การวิเคราะห์ซัลไฟด์โดยเครื่องโพเทนทิออมิเตอร์กับขั้วไฟฟ้าจำเพาะซัลไฟด์แบบรวม

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ในน้ำตัวอย่าง

ปิเปตน้ำตัวอย่างที่จะวิเคราะห์มา 50 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย AAR 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และนำไปวัดค่าศักย์ไฟฟ้าด้วยเครื่องโพเทนทิออมิเตอร์ที่ต่อกับขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์ นำค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ ไปคำนวณหาความเข้มข้นซัลไฟด์จากสมการเชิงเส้นถดถอยของกราฟมาตรฐานซัลไฟด์จากข้อ 4.2

4.4 การวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ในตัวอย่างตะกอนดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชั่งตัวอย่างตะกอนดินในแต่ละบ่อ 10 กรัม ลงในแต่ละบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ไปกรองผ่านกระดาษ Whatman ปิเปตสารละลายที่กรองได้มา 50 มิลลิลิตร เติมสารละลาย AAR 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และนำไปวัดค่าศักย์ไฟฟ้าด้วยเครื่องโพเทนทิออมิเตอร์ที่ต่อกับขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์ นำค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ ไปคำนวณความเข้มข้นซัลไฟด์จากสมการเชิงเส้นถดถอยของกราฟมาตรฐานซัลไฟด์จากข้อ 4.2

5. การวิเคราะห์ไฮโดรเจนซัลไฟด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนโดยการคำนวณ

5.1 หลักการ

หาปริมาณซัลไฟด์ตามวิธีในหัวข้อ 4 แล้วนำมาคำนวณหาค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนจากค่าพีเอชและค่าสภาพนำไฟฟ้า

5.2 วิธีวิเคราะห์

วิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์ตามวิธีในหัวข้อที่ 4 นำค่าสภาพนำไฟฟ้า ไปเปิดหาค่า PK′ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้ตารางที่ 8 จากนั้นนำค่า PK′ ที่ได้ของตัวอย่างน้ำลบจากค่าพีเอช แล้วนำไปอ่านค่าเปอร์เซ็นต์ HS^- และ H_2S โดยใช้ภาพที่ 20 ตั้งให้เป็นค่า J

5.3 การคำนวณ

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ = (J/100) x ปริมาณซัลไฟด์

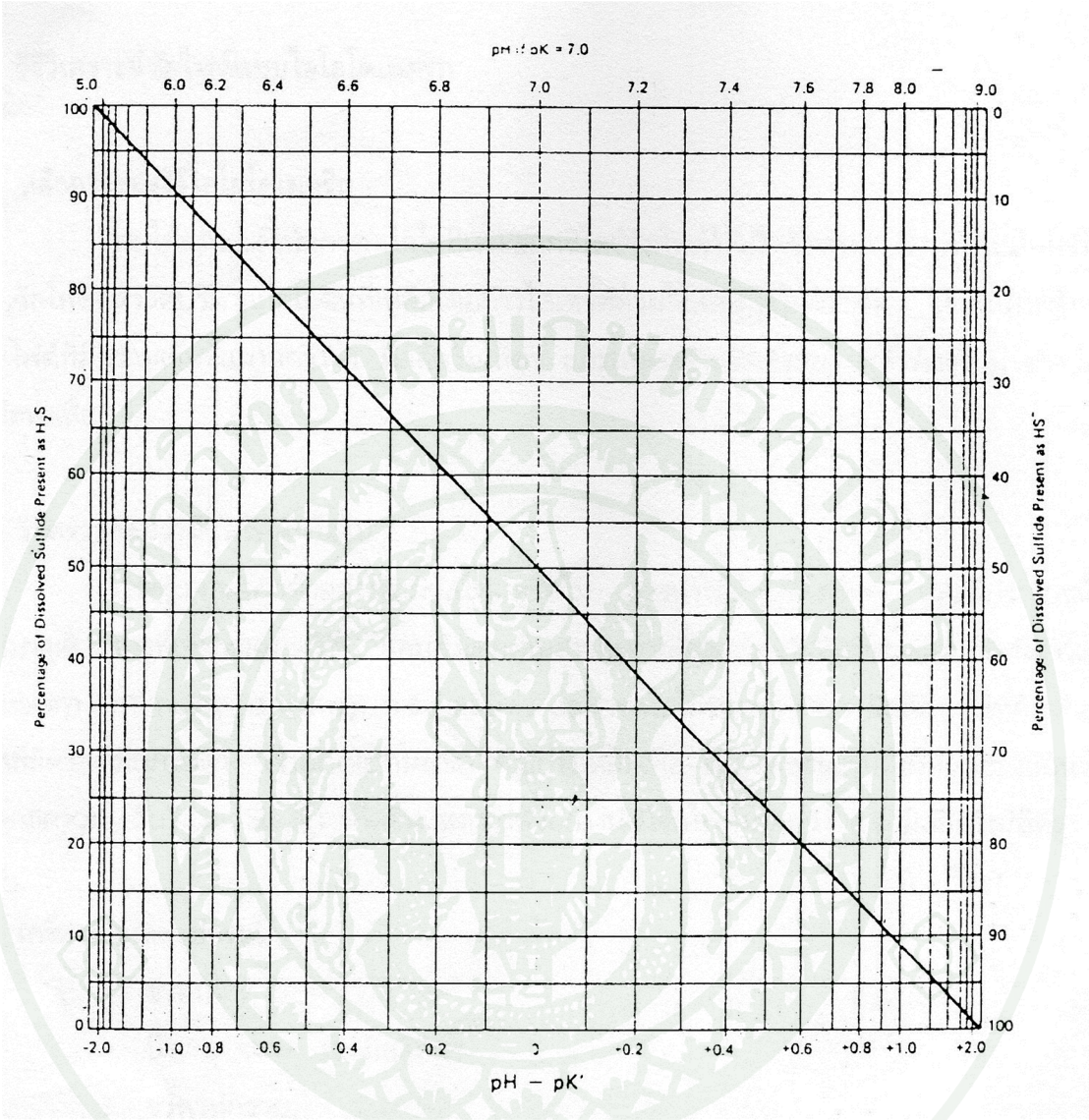
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน = (J/100) x ปริมาณซัลไฟด์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 Hydrogen Sulfide Factors

สภาพการนำไฟฟ้า	PK′ ที่อุณหภูมิต่างๆ		
25 °C (µmho/cm)	**20 °C**	**25 °C**	**30 °C**
0	-	7.03	-
100	7.08	7.01	6.94
200	7.07	7.00	6.93
400	7.06	6.99	6.92
700	7.05	6.98	6.91
1,200	7.04	6.97	6.9
2,000	7.03	6.96	6.89
3,000	7.02	6.95	6.88
4,000	7.01	6.94	6.87
5,200	7.00	6.93	6.86
7,200	6.99	6.92	6.85
10,000	6.98	6.91	6.84
14,000	6.97	6.90	6.83
22,000	6.96	6.89	6.82
50,000	6.95	6.88	6.81

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 20 สัดส่วนของ H_2S และ HS^- ในซัลไฟด์ส่วนที่ละลาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. การศึกษาระบบบ่อบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

ศึกษาระบบบ่อบำบัดน้ำเสียและสำรวจบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 5 บ่อ ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ได้แก่ บ่อตกตะกอน, บ่อผึ่งที่ 1, บ่อผึ่งที่ 2, บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ ดังภาพที่ 21

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 21 ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ((ก) บ่อตกตะกอน, (ข) บ่อผึ่งที่ 1, (ค) บ่อผึ่งที่ 2, (ง) บ่อผึ่งที่ 3 และ (จ) บ่อปรับสภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. การเก็บน้ำตัวอย่าง, การเก็บตะกอนดินและการวิเคราะห์

7.1 ระยะเวลาเก็บน้ำตัวอย่างและตะกอนดิน

ทำการเก็บตัวอย่างที่ทำการศึกษา ได้แก่ ตัวอย่างน้ำ และตะกอนดินในบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 5 บ่อของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ในช่วง 2 ฤดู โดยในแต่ละช่วงฤดู เก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง ดังนี้

ช่วงฤดูฝน (Wet Period) เก็บน้ำตัวอย่างและตะกอนดินในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2556 – ธันวาคม พ.ศ. 2556

ช่วงฤดูแล้ง (Dry Period) เก็บน้ำตัวอย่างและตะกอนดินในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2557 – เมษายน พ.ศ. 2557

7.2 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละบ่อ

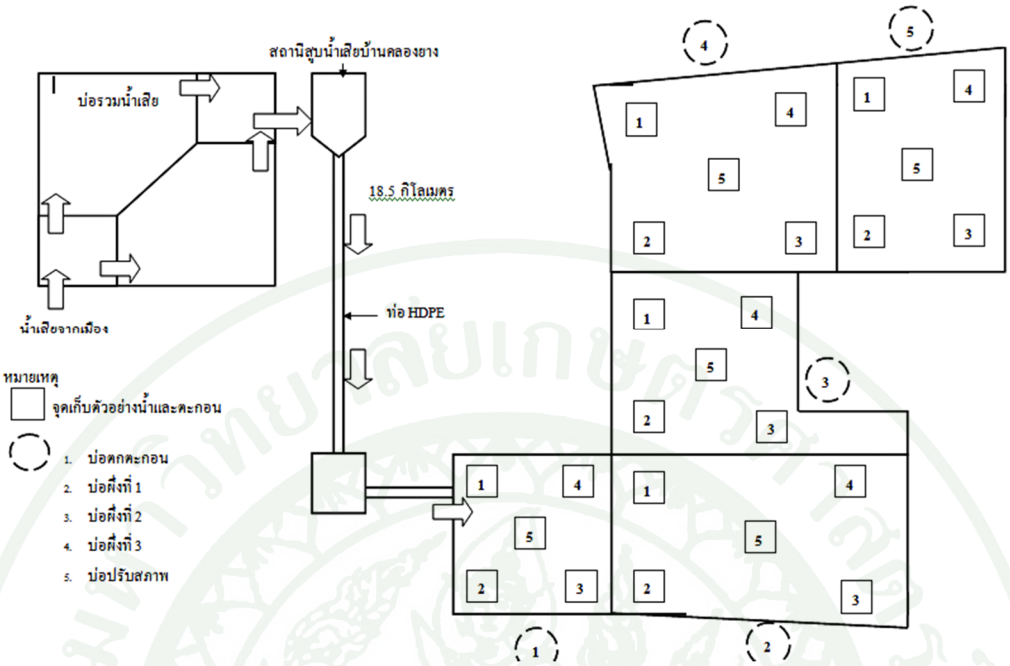
ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 5 จุด ดังภาพที่ 22 จุดละ 3 ระดับ คือ ระดับผิวน้ำ ระดับกลางน้ำ และระดับพื้นท้องน้ำ โดยใช้ Water Sampler แสดงดังภาพที่ 23

ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินในแต่ละบ่อ 5 จุด จุดละ 1 ตัวอย่าง แล้วนำมาผสมรวมกันเป็นตัวอย่างเดียว แสดงดังภาพที่ 22

นำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้น เช่น อุณหภูมิ (Temperature, $^{\circ}C$), ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH), ค่าการนำไฟฟ้า (EC, µs/cm), ความเค็ม(ppt), ของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (TDS, mg/l), ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO, mg/l), ซีโอดี(COD, mg/l) และบีโอดี(BOD, mg/l) และวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟอร์ในรูปของซัลเฟต (SO_4^{2-}) และซัลไฟด์ (S^{2-}) ต่อไป

ส่วนตะกอนดินก็นำมาวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟอร์ในรูปของซัลเฟต (SO_4^{2-}) และซัลไฟด์ (S^{2-}) ต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 22 ผังจุดเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนดินในบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 5 บ่อ



ภาพที่ 23 การเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 3 ระดับ คือ ระดับผิวน้ำ ระดับกลางน้ำ และระดับพื้นท้องน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

9. ระยะเวลาในการทดลอง

ระยะเวลาที่ทำการทดลอง 11 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2556 และสิ้นสุดการทดลองในเดือนเมษายน พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

การศึกษาปริมาณซัลเฟอร์ในน้ำและตะกอนดินจากบ่อปรับเสถียรที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยทำการศึกษาในเรื่องต่างๆ คือ ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณซัลเฟอร์ (ฤดูกาล, ความลึกของระดับน้ำ), ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟอร์ของระบบบ่อปรับเสถียร และการเปลี่ยนแปลงตามวัฏจักรชีวธรณีเคมีของธาตุซัลเฟอร์ ซึ่งได้ผลการศึกษา ดังนี้

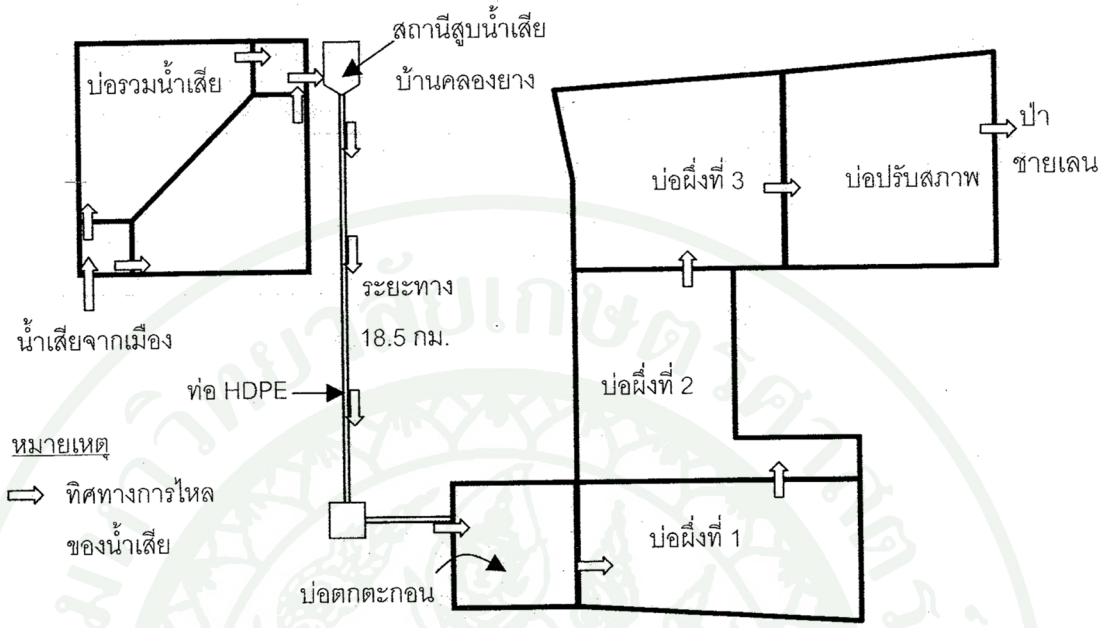
1. การศึกษาการทำงานของระบบบ่อปรับเสถียร

ระบบบ่อปรับเสถียร เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยธรรมชาติเป็นตัวบำบัด จัดเป็น Oxidation pond เรียกระบบนี้ว่า Lagoon Treatment เป็นบ่อที่สร้างเป็นบ่อดินจำนวน 5 บ่อ ต่ออนุกรม ได้แก่ บ่อตกตะกอน, บ่อผึ่งที่1, บ่อผึ่งที่ 2, บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ มีลักษณะเบื้องต้นของแต่ละบ่อ ดังตารางที่ 9 มีลักษณะการวางรูปแบบของระบบบ่อปรับเสถียรดังภาพที่ 24 โดยมีทิศทางการไหลของน้ำเสียในกระบวนการบำบัดน้ำเสียดังภาพที่ 25 และระบบบ่อปรับเสถียรที่ออกแบบสามารถรองรับน้ำเสียได้สูงสุด 10,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และออกแบบให้น้ำเสียในระบบมีระยะเวลากักพักบ่อละ 7 วัน

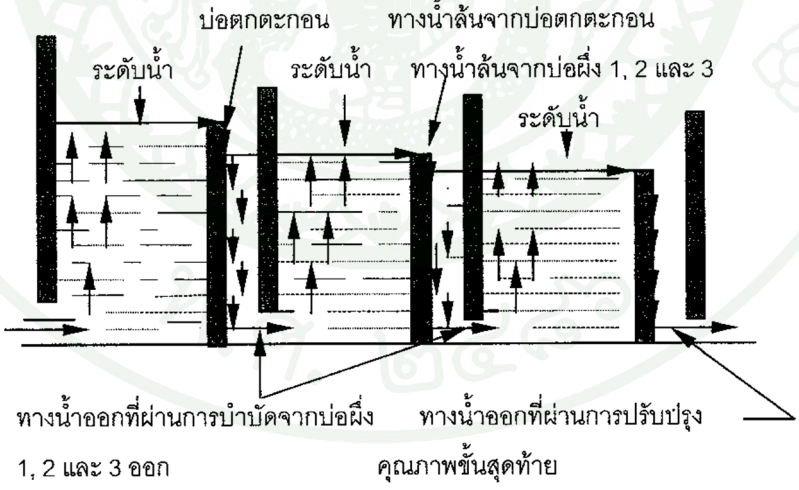
ตารางที่ 9 ลักษณะบ่อบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีในปัจจุบัน

บ่อย่อย	ลักษณะ	พื้นที่ (ตารางเมตร)	ความลึก (เมตร)	ปริมาตรความจุ (ลูกบาศก์เมตร)
1. บ่อตกตะกอน	สี่เหลี่ยมจัตุรัส	10,217.0	1.919	19,606.42
2. บ่อผึ่งที่ 1	คล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า	30,408.0	1.479	44,973.43
3. บ่อผึ่งที่ 2	คล้ายรูปตัว L	34,898.0	1.420	49,555.16
4. บ่อผึ่งที่ 3	คล้ายรูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า	35,424.0	1.353	47,928.67
5. บ่อปรับสภาพ	คล้ายสี่เหลี่ยมคางหมู	43,131.5	1.228	52,965.48
รวม		154,150.50	-	215,029.17

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 24 รูปแบบของระบบบ่อปรับเสถียรและการไหลของน้ำเสียในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย



ภาพที่ 25 ลักษณะบ่อบำบัดน้ำเสียและลักษณะการไหลของน้ำเสียในระบบรวบรวมและระบบบ่อปรับเสถียร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทำงานของบ่อบำบัดน้ำเสียของระบบบ่อปรับเสถียร

บ่อตกตะกอนทำหน้าที่กรองและทำให้ตกตะกอนโดยอาศัยหลักการบำบัดทางกายภาพด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ทำหน้าที่ในการตกตะกอนหนักจำพวกดิน ทราย ที่ปนมากับน้ำเสีย ซึ่งออกแบบบ่อมาให้มีความลึกประมาณ 2 เมตร เพื่อเพิ่มระยะเวลาการเก็บกักและเกิดตกตะกอนก่อนน้ำเสียส่วนใสจะไหลเข้าสู่บ่อต่อไป

บ่อผึ่งทำหน้าที่บำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ มีการออกแบบให้ลึกประมาณ 1.5 เมตร ทำให้แก๊สออกซิเจนจากบรรยากาศสามารถถ่ายเทได้ทั่วบ่อ เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกต่ำๆ ส่วนใหญ่จะใช้บำบัดน้ำเสียต่อจากกระบวนการบำบัดอื่นๆ เพื่อลดความสกปรกให้ต่ำลง ก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากบ่อผึ่งมีความลึกไม่มากทำให้แสงแดดสามารถส่องถึงก้นบ่อจึงส่งผลให้สาหร่ายสีเขียวสามารถสังเคราะห์แสงได้เป็นอย่างดีจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจะช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำ ซึ่งจุลินทรีย์ได้อาศัยออกซิเจนดังกล่าว ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และได้พลังงานเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งได้สารประกอบอนินทรีย์อื่นๆ ที่สาหร่ายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง อันเป็นลักษณะที่พึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน

บ่อปรับสภาพทำหน้าที่ปรับสภาพน้ำที่บำบัดแล้วโดยยังคงอาศัยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพและออกแบบให้มีความลึกประมาณ 1.2 เมตร เนื่องจากต้องการให้แสงแดดส่องได้ทั่วถึงเพื่อที่จะเร่งให้เกิดการเติมออกซิเจนให้แก่น้ำด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กและแพลงก์ตอนพืช

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการศึกษาลักษณะบ่อบำบัดน้ำเสียของระบบบ่อปรับเสถียร ทำให้ทราบว่าบ่อบำบัดน้ำเสียถูกออกแบบให้สอดคล้องกับลักษณะพื้นที่ว่างของพื้นที่เดิม โดยไม่มีการไถหรือเปิดพื้นที่ป่าชายเลนเพิ่มเติม ดังนั้นลักษณะรูปร่างของบ่อจึงแปรไปตามการใช้ที่ดินเดิมในขณะริเริ่มและมีการสำรวจพื้นที่ในตอนแรก และการที่ออกแบบบ่อตกตะกอนให้มีความลึกมากที่สุด เพื่อให้บ่อทำงานแบบกึ่งไร้อากาศ (มีความลึกมากกว่า 1.5 เมตร) (Hammer, 1986) โดยภายในบ่อจะเกิดทั้งปฏิกิริยาย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน และปฏิกิริยาย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนบ่อผึ่งที่ 1, บ่อผึ่งที่ 2, บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ จัดเป็นบ่อใช้อากาศ โดยเฉพาะบ่อปรับสภาพที่มีความลึกเพียง 1.228 เมตร จึงทำให้แก๊สออกซิเจนจากบรรยากาศสามารถถ่ายเทได้ทั่วบ่อ ซึ่งเหมาะสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกต่ำๆ ก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

2. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในระบบบ่อปรับเสถียร

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำของน้ำเสียในระบบบ่อปรับเสถียรที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนประกอบไปด้วย 5 บ่อ คือ 1. บ่อตกตะกอน, 2. บ่อผึ่งที่ 1, 3. บ่อผึ่งที่ 2, 4. บ่อผึ่งที่ 3 และ 5. บ่อปรับสภาพ และได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามวิธีการที่กำหนดไว้ใน Standard Method for Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WEF, 1995) โดยการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย 2 ฤดูกาล คือ ฤดูฝนและฤดูแล้ง ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 10 และ 11

ตารางที่ 10 คุณภาพน้ำเบื้องต้นของระบบบ่อปรับเสถียรทั้ง 5 บ่อที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนในฤดูฝน

ฤดูกาล	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้น							
ฤดูฝน บ่อ	Temperature (°C)	Salinity (ppt)	EC (µs/cm)	TDS (mg/l)	pH	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)
1	30.80	0.30	798.30	534.80	7.60	7.00	17.00	98.00
2	30.60	0.30	762.80	511.50	8.30	7.80	16.90	71.00
3	30.30	0.30	808.50	541.60	8.70	8.20	15.90	52.00
4	30.10	0.40	867.30	581.00	8.90	8.80	12.00	52.00
5	31.10	0.50	1082.50	726.00	9.10	8.40	11.40	47.00
ค่ามาตรฐาน	40.0	-	-	-	5.5-9	6.0	20	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 คุณภาพน้ำเบื้องต้นของระบบบ่อปรับเสถียรทั้ง 5 บ่อที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนในฤดูแล้ง

ฤดูกาล	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้น							
ฤดูแล้ง บ่อ	**Temperature (°C)**	**Salinity (ppt)**	**EC (us/cm)**	**TDS (mg/l)**	**pH**	**DO (mg/l)**	**BOD (mg/l)**	**COD (mg/l)**
1	31.30	0.30	665.60	451.50	7.50	8.10	34.10	93.00
2	30.90	0.30	654.90	456.20	7.60	9.10	33.60	74.00
3	30.70	0.30	745.80	499.60	8.80	9.80	32.50	58.00
4	31.60	0.40	828.30	554.50	9.40	10.30	27.90	53.00
5	31.80	0.40	940.20	642.30	9.40	10.00	19.40	50.00
ค่ามาตรฐาน	40.0	-	-	-	5.5-9	6.0	20.0	-

อุณหภูมิของน้ำ จากการศึกษาคุณภาพน้ำทั้ง 5 บ่อ ในพื้นที่การศึกษาพบว่าอุณหภูมิของน้ำนั้นมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี เป็นไปตามธรรมชาติและไม่เกิน 40 องศาเซลเซียสตามที่มาตรฐานกำหนด (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) เห็นได้ว่าตัวอย่างน้ำทั้ง 5 บ่อมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันมาก โดยในช่วงฤดูฝน อุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 30.1-31.1 องศาเซลเซียส และช่วงฤดูแล้ง อุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 30.7-31.8 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีมีค่าเท่ากับ 30.9 องศาเซลเซียส

ความเค็มของน้ำ จากการศึกษาคุณภาพน้ำทั้ง 5 บ่อ ในพื้นที่การศึกษาพบว่าความเค็มของตัวอย่างน้ำในฤดูฝนของทั้ง 5 บ่อ เท่ากับ 0.3, 0.3, 0.3, 0.4 และ 0.5 ppt ตามลำดับ และในฤดูแล้งความเค็มของตัวอย่างน้ำทั้ง 5 บ่อ เท่ากับ 0.3, 0.3, 0.3, 0.4 และ 0.4 ppt ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าทั้งสองฤดูกาล จะมีค่าความเค็มมากที่สุดในบ่อปรับสภาพ เนื่องจากบ่อปรับสภาพมีตะกอนที่ก้นบ่อบำบัดซึ่งเป็นแหล่งสะสมปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในปริมาณมาก ความเค็มของตะกอนดินมีโอกาสแพร่กระจายสู่ชั้นน้ำ จึงทำให้บ่อปรับสภาพมีค่าความเค็มมากตามไปด้วย

ค่าการนำไฟฟ้า ในช่วงฤดูฝนจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 762.8-1082.5 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูแล้งที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 654.9-940.2 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ส่วนค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในช่วงฤดูฝน น้ำเสียในแต่ละบ่อจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 511.5-726.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูแล้ง โดยน้ำเสียในแต่ละบ่อมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 451.5-642.3 มิลลิกรัมต่อลิตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าความเป็นกรด-ด่าง จากการศึกษาคุณภาพน้ำทั้ง 5 บ่อ ในพื้นที่การศึกษาพบว่าฤดูแล้ง ค่าความเป็นกรดเป็นด่างจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปตามบ่อตกตะกอน, บ่อผึ่งที่ 1, บ่อผึ่งที่ 2, บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ โดยมีค่า 7.6, 8.3, 8.7, 8.9 และ 9.1 ตามลำดับ ส่วนฤดูฝนก็จะมีค่า 7.5, 7.6, 8.8, 9.4 และ 9.4 ตามลำดับ จะเห็นว่าตั้งแต่บ่อตกตะกอนถึงบ่อผึ่งที่ 3 มีค่าที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด (pH 5.5-9) (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) ส่วนในบ่อปรับสภาพจะมีค่าเกินมาตรฐานเพียงเล็กน้อย จะเห็นได้ว่าทั้งสองฤดูกาลก็จะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าฤดูกาลไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

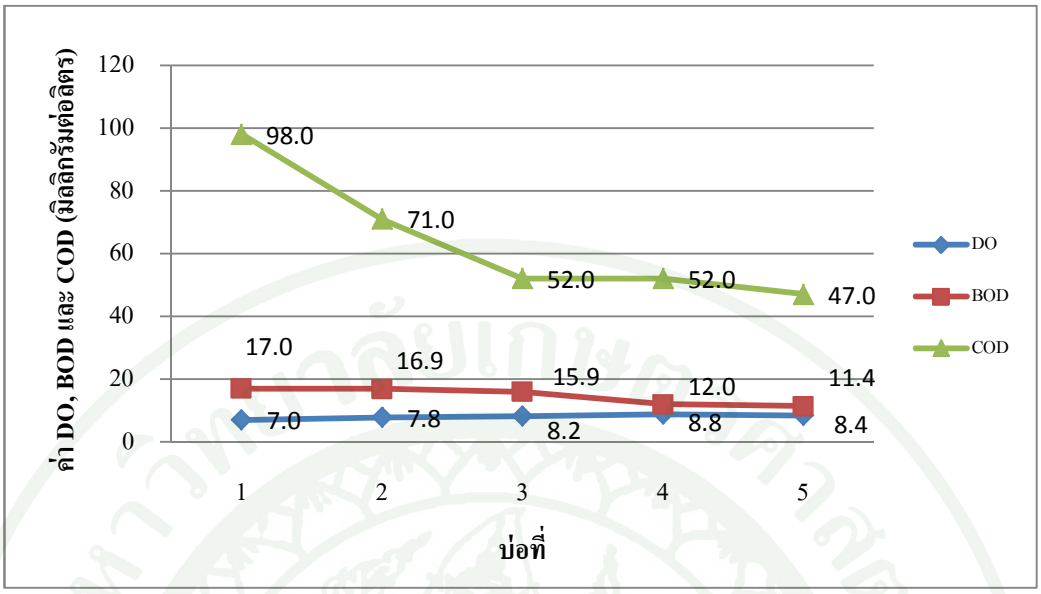
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ จากการศึกษาพบว่าในฤดูฝน ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่บ่อตกตะกอนจนถึงบ่อผึ่งที่ 3 และจะลดลงเพียงเล็กน้อยในบ่อสุดท้ายซึ่งเป็นบ่อปรับสภาพ ส่วนในฤดูแล้งจะมีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับฤดูฝน (ภาพที่ 26 และ 27) ตามลำดับ เห็นได้ว่าฤดูแล้งมีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำสูงกว่าในฤดูฝนทุกบ่อ เป็นเพราะว่าในฤดูแล้งนั้น มีแสงแดดที่สามารถส่องถึงบ่อบำบัดน้ำเสีย ทำให้การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายเป็นไปได้ดี จึงเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้แก่แหล่งน้ำ ต่างจากฤดูฝนที่ท้องฟ้ามืดครึ้ม ทำให้ปริมาณแสงแดดส่องถึงน้อย การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจึงไม่ดีเท่าที่ควร

บีโอดี เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 26 และ 27 พบว่าตั้งแต่บ่อตกตะกอนจนถึงบ่อปรับสภาพทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน ค่าบีโอดีมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ โดยฤดูฝนมีค่าบีโอดีเท่ากับ 17.0, 16.9, 15.9, 12.0 และ 11.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ฤดูแล้งมีค่าบีโอดีเท่ากับ 34.1, 33.6, 32.5, 27.9 และ 19.4 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งทั้งสองฤดูกาล เมื่อน้ำผ่านการบำบัดแล้วจะมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งชุมชน (กำหนดไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร) และเห็นได้ว่าในฤดูแล้งนั้นจะมีค่าบีโอดีที่สูงกว่าในช่วงฤดูฝน เป็นเพราะว่าน้ำเสียมีความเข้มข้นมากขึ้นในฤดูแล้ง ส่วนในฤดูฝนน้ำเสียจะได้รับการเจือจางจากน้ำฝน ส่วนในฤดูแล้งมีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์เท่ากับ 43.11% ซึ่งมากกว่าฤดูฝนที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์เท่ากับ 32.94% เนื่องจากฤดูแล้งมีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำสูงกว่าในฤดูฝน ทำให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยอาศัยออกซิเจน (aerobic digestion) ของจุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าในฤดูฝน

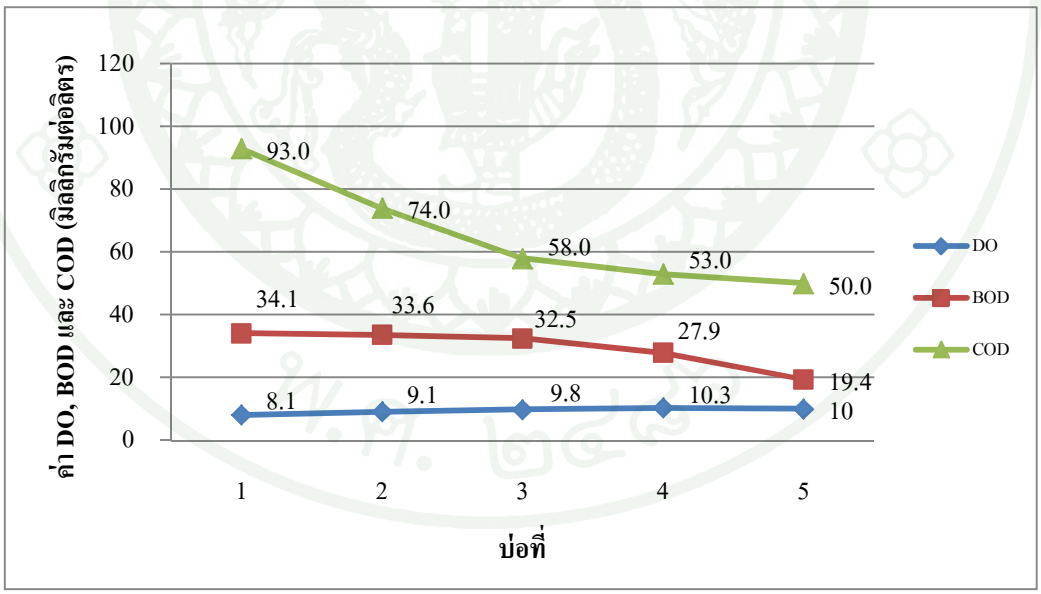
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซีโอดี จากการศึกษาพบว่าตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปจนถึงบ่อปรับสภาพ ค่าซีโอดีมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ โดยในฤดูฝนมีค่าซีโอดี เท่ากับ 98.0, 71.0, 52.0, 52.0 และ 47.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนในฤดูแล้ง ค่าซีโอดี เท่ากับ 93.0, 74.0, 58.0, 53.0 และ 50.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 26 และ 27) เห็นได้ว่าทั้งสองฤดูกาลมีค่าซีโอดีที่ใกล้เคียงกัน และน้ำก่อนเข้าระบบมีค่าซีโอดีที่ผ่านเกณฑ์แล้ว เนื่องจากน้ำเสียชุมชนนั้นมีสารอินทรีย์เจือปนน้อย ซึ่งต่างจากน้ำเสียจากแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารเคมีในการผลิต ทำให้น้ำเสียมีค่าซีโอดีสูง ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในฤดูฝนเท่ากับ 52.04% ซึ่งมากกว่าฤดูแล้งที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์เท่ากับ 46.24% เนื่องจากในฤดูฝน มีปริมาณน้ำฝนตกลงมาเจือจางสารอินทรีย์ในน้ำ จึงอาจทำให้น้ำมีสารอินทรีย์ลดลง ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในฤดูฝนจึงมากกว่า แต่ไม่แตกต่างกันมาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



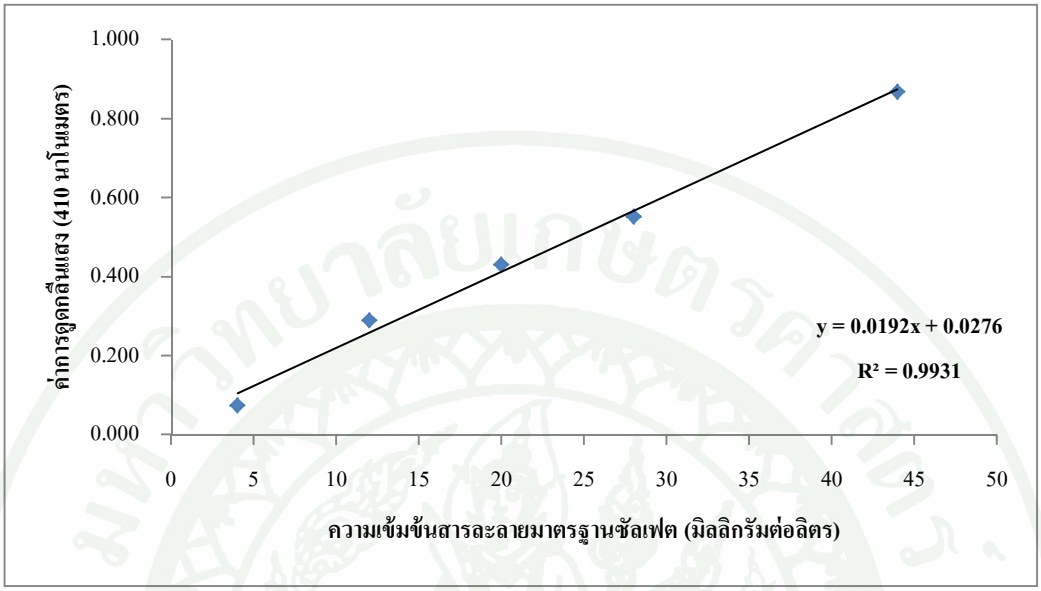
ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ (ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำได้, บีโอดี และซีโอดี) ในบ่อบำบัดน้ำเสีย ช่วงฤดูฝน



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ (ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำได้, บีโอดี และซีโอดี) ในบ่อบำบัดน้ำเสีย ช่วงฤดูแล้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. กราฟมาตรฐานซัลเฟต

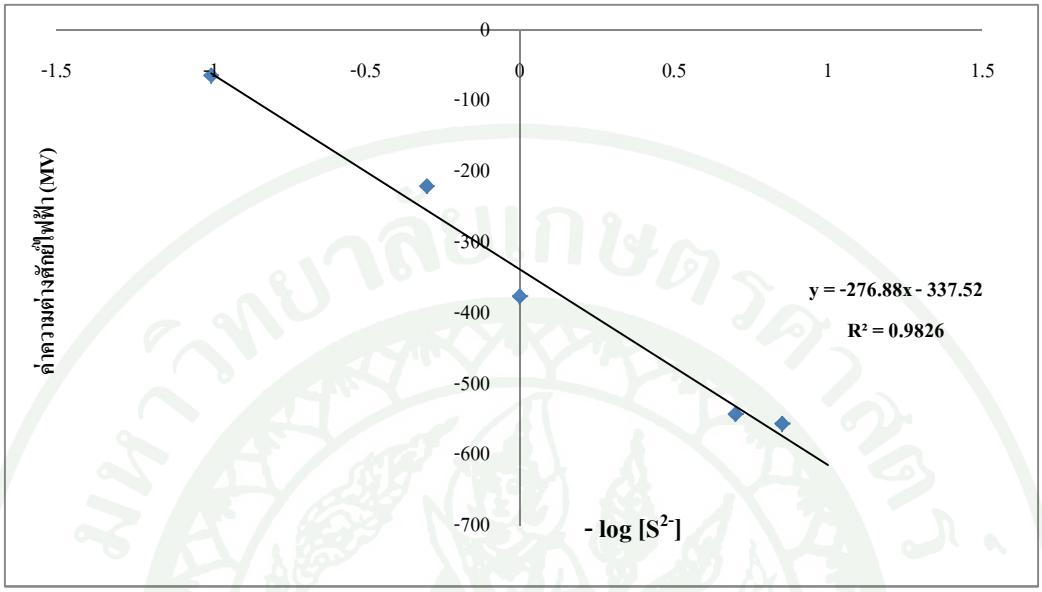


ภาพที่ 28 กราฟมาตรฐานซัลเฟต

วิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ซัลเฟต คือ วิธีวัดความขุ่น ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กราฟมาตรฐานที่เตรียมได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแสดงได้ดังภาพที่ 28 มีลักษณะเป็นเส้นตรงโดยมีสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $y = 0.0192x + 0.0276$ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9931

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. กราฟมาตรฐานซัลไฟด์



ภาพที่ 29 กราฟมาตรฐานซัลไฟด์

วิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ซัลไฟด์ คือ วิธีโพเทนทิออเมทรี ซึ่งวัดค่าศักย์ไฟฟ้าด้วยขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์เทียบกับขั้วอ้างอิง กราฟมาตรฐานที่เตรียมได้จากการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เข้มข้น 0.1 ถึง 10 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงได้ดังภาพที่ 29 มีลักษณะเป็นเส้นตรงโดยมีสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $y = -276.88x – 337.52$ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9826

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตในน้ำตัวอย่าง

จากการศึกษาโดยวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตในน้ำตัวอย่างทั้ง 5 บ่อ แบ่งเก็บ 3 ระดับ คือ ผิวน้ำ, กลางน้ำ และพื้นท้องน้ำ และแต่ละระดับเก็บ 5 จุด นำมาผสมกัน เก็บ 2 ช่วงฤดูกาล คือ ฤดูฝนและฤดูแล้ง แต่ละฤดูกาลเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง ฤดูฝนเก็บในเดือนสิงหาคม (ครั้งที่ 1), เดือนกันยายน (ครั้งที่ 2) และเดือนพฤศจิกายน (ครั้งที่ 3) พ.ศ.2556 ในฤดูแล้งเก็บในเดือนมกราคม (ครั้งที่ 1), เดือนกุมภาพันธ์ (ครั้งที่ 2) และเดือนมีนาคม (ครั้งที่ 3) พ.ศ.2557 ผลดังตารางที่ 12 ละ 13

ตารางที่ 12 ปริมาณซัลเฟตของตัวอย่างน้ำจากบ่อทั้ง 5 บ่อของระบบบ่อปรับเสถียร ช่วงฤดูฝน

บ่อ	ระดับน้ำ	ปริมาณซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
บ่อตกตะกอน	ผิวน้ำ	nd	nd	nd
	กลางน้ำ	nd	nd	nd
	พื้นท้องน้ำ	nd	nd	nd
บ่อผึ่งที่ 1	ผิวน้ำ	nd	nd	nd
	กลางน้ำ	nd	nd	nd
	พื้นท้องน้ำ	nd	nd	nd
บ่อผึ่งที่ 2	ผิวน้ำ	nd	nd	nd
	กลางน้ำ	nd	nd	nd
	พื้นท้องน้ำ	nd	nd	nd
บ่อผึ่งที่ 3	ผิวน้ำ	nd	nd	nd
	กลางน้ำ	nd	nd	nd
	พื้นท้องน้ำ	nd	nd	nd
บ่อปรับสภาพ	ผิวน้ำ	1.642	1.741	1.642
	กลางน้ำ	1.575	1.542	1.493
	พื้นท้องน้ำ	1.808	1.642	1.841

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 (ต่อ)

หมายเหตุ nd หมายถึง ตรวจไม่พบปริมาณซัลเฟต

ตารางที่ 13 ปริมาณซัลเฟตของตัวอย่างน้ำจากบ่อทั้ง 5 บ่อของระบบบ่อปรับเสถียร ช่วงฤดูแล้ง

บ่อ	ระดับน้ำ	ปริมาณซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
บ่อตกตะกอน	ผิวน้ำ	nd	nd	nd
	กลางน้ำ	nd	nd	nd
	พื้นท้องน้ำ	nd	nd	nd
บ่อผึ่งที่ 1	ผิวน้ำ	nd	nd	nd
	กลางน้ำ	nd	nd	nd
	พื้นท้องน้ำ	nd	nd	nd
บ่อผึ่งที่ 2	ผิวน้ำ	nd	nd	nd
	กลางน้ำ	nd	nd	nd
	พื้นท้องน้ำ	nd	nd	nd
บ่อผึ่งที่ 3	ผิวน้ำ	nd	nd	nd
	กลางน้ำ	nd	nd	nd
	พื้นท้องน้ำ	nd	nd	nd
บ่อปรับสภาพ	ผิวน้ำ	1.493	nd	nd
	กลางน้ำ	1.741	nd	nd
	พื้นท้องน้ำ	1.642	nd	nd

หมายเหตุ nd หมายถึง ตรวจไม่พบปริมาณซัลเฟต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตในตัวอย่างน้ำที่เก็บจากระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ คือ ผิวน้ำ กลางน้ำ และพื้นท้องน้ำ พบว่าตลอดการเก็บตัวอย่างน้ำในฤดูฝน 3 ครั้ง ตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปจนถึงบ่อผึ่งที่ 3 ทั้ง 3 ระดับน้ำไม่พบปริมาณซัลเฟตอยู่ แต่จะพบซัลเฟตปริมาณน้อยมากอยู่ที่บ่อปรับสภาพซึ่งเป็นบ่อสุดท้ายก่อนที่น้ำจะออกจากระบบบ่อปรับเสถียร ซึ่งทั้ง 3 ครั้งจะมีค่าปริมาณซัลเฟตอยู่ในช่วง 1.542-1.841 มิลลิกรัมต่อลิตร และในแต่ละระดับน้ำจะเห็นว่าปริมาณซัลเฟตใกล้เคียงกัน ส่วนในฤดูแล้งจะไม่พบปริมาณซัลเฟตตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปจนถึงบ่อปรับสภาพ ยกเว้นจะมีเพียงครั้งแรกที่เก็บตัวอย่างน้ำ ที่พบซัลเฟตในบ่อปรับสภาพ แต่ก็มีปริมาณน้อยมาก เช่นเดียวกับฤดูฝน เป็นเพราะในบ่อปรับสภาพนั้นมีความลึกที่น้อย เมื่อได้รับอิทธิพลจากลมและแสงแดดเต็มที่ จึงทำให้น้ำในบ่อปรับสภาพได้รับการเติมออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในวัฏจักรซัลเฟอร์เกิดได้ดี โดยแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นสารตั้งต้นและแก๊สออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็คตรอนเปลี่ยนไปเป็นซัลเฟต (SO_4^{2-})

ปริมาณซัลเฟตที่ตรวจไม่พบในบ่อตกตะกอนจนถึงบ่อผึ่งที่ 3 เนื่องมาจากน้ำเสียชุมชนจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี ก่อนน้ำเสียจะมาถึงบ่อบำบัดน้ำเสียจะถูกรวบรวมมาจากหลายๆจุด น้ำเสียมีการไหลมาตามท่อส่งเป็นระยะทาง 18.5 กิโลเมตร ซึ่งทำให้ปริมาณซัลเฟตลดลงตามระยะทางในการส่งน้ำเสีย เพราะซัลเฟตในท่อรวบรวมน้ำเสียจะถูกใช้ไปโดยจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟตซึ่งจะก่อให้เกิดซัลไฟด์ออกสู่น้ำเสีย (กาญจนา, 2549) และเมื่อศึกษาจากงานวิจัยของ ภมรรัตน์ (2553) พบว่ามีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี 3 จุดด้วยกัน คือ สถานีสูบน้ำเสียสะพานพระจอมเกล้า สถานีสูบน้ำเสียสะพานเทศบาล และสถานีสูบน้ำเสียสะพานใหญ่ ก็พบว่ามีปริมาณซัลเฟตน้อยมาก (ตารางที่ 14) ทำให้ทราบว่าเมื่อน้ำเสียถูกส่งมาตามท่อ ก่อนเข้าระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย ซัลเฟตจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ จึงทำให้ในระบบบ่อบัดน้ำเสียไม่พบปริมาณซัลเฟต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตและซัลไฟด์จากท่อระบายน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี

พารามิเตอร์	จุดเก็บน้ำเสีย			ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง
	สถานีสูบน้ำเสียสะพานพระจอมเกล้า	สถานีสูบน้ำเสียสะพานเทศบาล	สถานีสูบน้ำเสียสะพานใหญ่	
ซัลไฟด์ไอออน (mg/l)	3.04	2.03	1.05	ไม่เกิน 1
ซัลเฟตไอออน (mg/l)	3.01	2.17	1.14	ไม่ได้กำหนด

ที่มา: ภมรรัตน์ (2550)

6. ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน ในตัวอย่างน้ำ

จากการศึกษาโดยวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ในน้ำตัวอย่างในรูปซัลไฟด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนทั้ง 5 บ่อ ได้แก่ บ่อตกตะกอน, บ่อผึ่งที่ 1, บ่อผึ่งที่ 2, บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ โดยแบ่งเก็บ 3 ระดับ คือ ผิวน้ำ, กลางน้ำ และพื้นท้องน้ำ และแต่ละระดับเก็บ 5 จุด นำมาผสมกัน เก็บ 2 ช่วงฤดูกาล คือ ฤดูฝนและฤดูแล้ง แต่ละฤดูกาลเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง ในฤดูฝนเก็บในเดือนสิงหาคม (ครั้งที่ 1), เดือนกันยายน (ครั้งที่ 2) และเดือนพฤศจิกายน (ครั้งที่ 3) พ.ศ.2556 ส่วนในฤดูแล้งเก็บในเดือนมกราคม (ครั้งที่ 1), เดือนกุมภาพันธ์ (ครั้งที่ 2) และเดือนมีนาคม (ครั้งที่ 3) พ.ศ.2557 ได้ผลดังตารางที่ 15 และ 16

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 15 ปริมาณซัลเฟอร์ของตัวอย่างน้ำจากบ่อทั้ง 5 บ่อของระบบบ่อปรับเสถียร ช่วงฤดูฝน

บ่อบำบัดน้ำเสีย	ระดับเก็บตัวอย่าง	ปริมาณซัลเฟอร์ในน้ำตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)								
		ซัลไฟด์			ไฮโดรเจนซัลไฟด์			ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
บ่อตกตะกอน	1S	0.087	0.053	0.054	0.021	0.004	0.005	0.066	0.049	0.049
	1M	0.087	0.055	0.057	0.022	0.007	0.005	0.065	0.048	0.052
	1B	0.087	0.06	0.06	0.021	0.007	0.007	0.066	0.054	0.054
	เฉลี่ย	0.087	0.056	0.057	0.021	0.006	0.006	0.066	0.050	0.051
	เฉลี่ยรวม		0.067			0.011			0.056	
บ่อผึ่งที่ 1	2S	0.087	0.057	0.059	0.006	0.001	0.001	0.081	0.057	0.058
	2M	0.087	0.061	0.061	0.006	0.001	0.002	0.081	0.060	0.060
	2B	0.089	0.062	0.062	0.005	0.002	0.002	0.084	0.061	0.061
	เฉลี่ย	0.088	0.060	0.061	0.006	0.001	0.002	0.082	0.059	0.060
	เฉลี่ยรวม		0.069			0.003			0.067	
บ่อผึ่งที่ 2	3S	0.079	0.062	0.062	0.002	0.001	0.001	0.077	0.061	0.062
	3M	0.086	0.061	0.06	0.002	0.001	0.001	0.084	0.061	0.060
	3B	0.086	0.063	0.063	0.002	0.001	0.001	0.084	0.062	0.063

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 15 (ต่อ)

บ่อบำบัดน้ำเสีย	ระดับเก็บตัวอย่าง	ปริมาณซัลเฟอร์ในน้ำตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)								
		ซัลไฟด์			ไฮโดรเจนซัลไฟด์			ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	เฉลี่ย	0.084	0.062	0.062	0.002	0.001	0.000	0.082	0.061	0.062
	เฉลี่ยรวม		0.069			0.001			0.068	
บ่อผึ่งที่ 3	4S	0.078	0.062	0.062	0.000	0.000	0.000	0.077	0.062	0.062
	4M	0.079	0.059	0.06	0.000	0.000	0.000	0.078	0.059	0.060
	4B	0.083	0.06	0.06	0.000	0.000	0.000	0.082	0.060	0.060
	เฉลี่ย	0.080	0.060	0.061	0.000	0.000	0.000	0.079	0.060	0.061
	เฉลี่ยรวม		0.067			0.000			0.067	
บ่อปรับสภาพ	5S	0.075	0.052	0.052	0.000	0.000	0.000	0.075	0.052	0.052
	5M	0.079	0.052	0.051	0.000	0.000	0.000	0.079	0.052	0.051
	5B	0.083	0.052	0.055	0.000	0.000	0.000	0.083	0.052	0.055
	เฉลี่ย	0.079	0.052	0.053	0.000	0.000	0.000	0.079	0.052	0.053
	เฉลี่ยรวม		0.061			0.000			0.061	
เกณฑ์มาตรฐาน			1.0			1.0			ไม่กำหนด	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 ปริมาณซัลเฟอร์ของตัวอย่างน้ำจากบ่อทั้ง 5 บ่อของระบบบ่อปรับเสถียร ช่วงฤดูแล้ง

บ่อบำบัดน้ำเสีย	ระดับเก็บตัวอย่าง	ปริมาณซัลเฟอร์ในน้ำตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)								
		ซัลไฟด์			ไฮโดรเจนซัลไฟด์			ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
บ่อตกตะกอน	1S	0.048	0.047	0.058	0.011	0.005	0.009	0.036	0.042	0.049
	1M	0.048	0.049	0.064	0.014	0.008	0.013	0.034	0.041	0.050
	1B	0.051	0.051	0.064	0.014	0.008	0.013	0.037	0.043	0.051
	เฉลี่ย	0.049	0.049	0.062	0.013	0.007	0.012	0.036	0.042	0.050
	เฉลี่ยรวม		0.053			0.011			0.043	
บ่อผึ่งที่ 1	2S	0.051	0.052	0.065	0.003	0.005	0.003	0.049	0.047	0.061
	2M	0.054	0.052	0.067	0.003	0.005	0.005	0.051	0.048	0.062
	2B	0.055	0.052	0.068	0.003	0.005	0.005	0.052	0.047	0.063
	เฉลี่ย	0.053	0.052	0.067	0.003	0.005	0.005	0.050	0.047	0.062
	เฉลี่ยรวม		0.057			0.004			0.053	
บ่อผึ่งที่ 2	3S	0.060	0.054	0.070	0.001	0.001	0.001	0.058	0.053	0.069
	3M	0.058	0.055	0.070	0.001	0.001	0.001	0.057	0.054	0.069
	3B	0.058	0.056	0.071	0.002	0.002	0.001	0.056	0.053	0.069

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 (ต่อ)

บ่อบำบัดน้ำเสีย	ระดับเก็บตัวอย่าง	ปริมาณซัลเฟอร์ในน้ำตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)								
		ซัลไฟด์			ไฮโดรเจนซัลไฟด์			ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	เฉลี่ย	0.059	0.055	0.070	0.001	0.002	0.001	0.057	0.053	0.069
	เฉลี่ยรวม		0.061			0.001			0.060	
บ่อผึ่งที่ 3	4S	0.058	0.056	0.072	0.000	0.000	0.000	0.058	0.056	0.072
	4M	0.060	0.057	0.073	0.000	0.000	0.000	0.060	0.057	0.073
	4B	0.061	0.058	0.073	0.000	0.000	0.000	0.061	0.058	0.073
	เฉลี่ย	0.060	0.057	0.073	0.000	0.000	0.000	0.060	0.057	0.072
	เฉลี่ยรวม		0.063			0.000			0.063	
บ่อปรับสภาพ	5S	0.044	0.044	0.058	0.000	0.000	0.000	0.044	0.044	0.058
	5M	0.041	0.041	0.056	0.000	0.000	0.000	0.041	0.041	0.056
	5B	0.050	0.048	0.055	0.000	0.000	0.000	0.050	0.048	0.055
	เฉลี่ย	0.045	0.044	0.056	0.000	0.000	0.000	0.045	0.044	0.056
	เฉลี่ยรวม		0.049			0.000			0.049	
เกณฑ์มาตรฐาน			1.0			1.0			ไม่กำหนด	

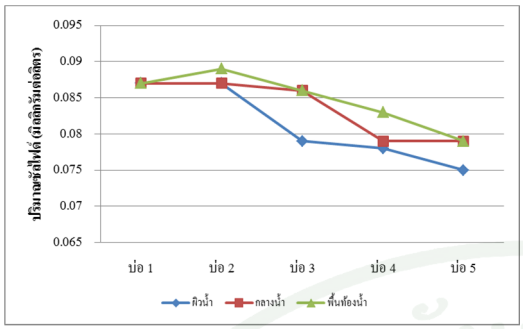
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.1 ปริมาณซัลไฟด์

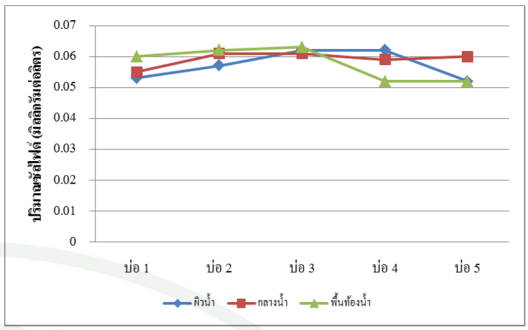
จากการวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์จากระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ คือ ผิวน้ำ กลางน้ำ และพื้นท้องน้ำ ผลการวิเคราะห์พบว่า ทั้ง 3 ครั้ง ที่เก็บตัวอย่างน้ำในฤดูฝนตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปจนถึงบ่อปรับสภาพทั้ง 3 ระดับน้ำมีปริมาณซัลไฟด์ที่ใกล้เคียงกันมาก โดยจากการเก็บตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1 พบว่ามีมีปริมาณซัลไฟด์อยู่ในช่วง 0.075-0.089 มิลลิกรัมต่อลิตร ครั้งที่ 2 ปริมาณซัลไฟด์อยู่ในช่วง 0.052-0.063 มิลลิกรัมต่อลิตร และในครั้งที่ 3 ปริมาณซัลไฟด์จะอยู่ในช่วง 0.051-0.063 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 30) ส่วนในฤดูแล้งการเก็บตัวอย่างน้ำ ทั้ง 3 ครั้งพบว่าปริมาณซัลไฟด์จะอยู่ในช่วง 0.041-0.063 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 31) แสดงให้เห็นว่าระดับความลึกของน้ำทุกบ่อไม่มีผลต่อปริมาณซัลไฟด์ในระบบบ่อปรับเสถียร ความเข้มข้นของซัลไฟด์มีปริมาณน้อยมากและมีค่าที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด (1 มิลลิกรัมต่อลิตร) (กรมควบคุมมลพิษ)

จากการที่ไม่พบปริมาณซัลเฟตในบ่อตกตะกอนจนถึงบ่อผึ่งที่ 3 แต่พบว่ามีปริมาณซัลไฟด์ เมื่อพิจารณาจากวัฏจักรซัลเฟอร์ สามารถอธิบายได้ว่าน้ำที่เข้ามาในระบบบ่อปรับเสถียรนั้นจะอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ซัลเฟอร์ (Organic Sulfur) จากนั้นตั้งแต่บ่อตกตะกอนจนถึงบ่อผึ่งที่ 3 จะเกิดปฏิกิริยาดีซัลเฟอเรชัน (Desulfuration) โดยถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ทำให้เกิดซัลไฟด์ขึ้นจึงสามารถตรวจพบได้ ส่วนในบ่อปรับสภาพพบว่าปริมาณซัลไฟด์ลดลง เนื่องจากบ่อปรับสภาพนั้นมีความลึกน้อยที่สุด เมื่อได้รับอิทธิพลจากลมและแสงแดดเต็มที่ จึงทำให้น้ำในบ่อปรับสภาพได้รับการเติมออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในวัฏจักรซัลเฟอร์เกิดได้ดี โดยซัลไฟด์ จะถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนจึงเปลี่ยนไปเป็นซัลเฟต (SO_4^{2-})

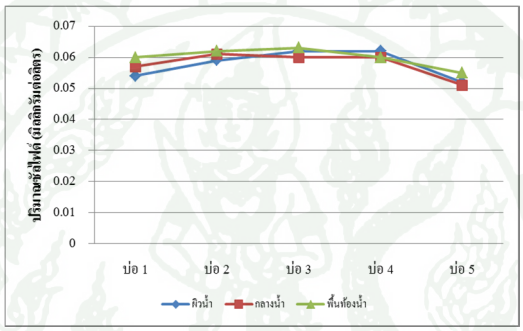
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ก)



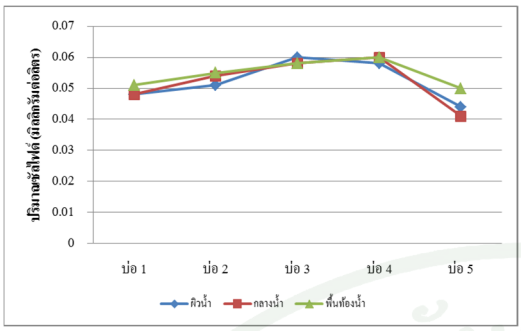
(ข)



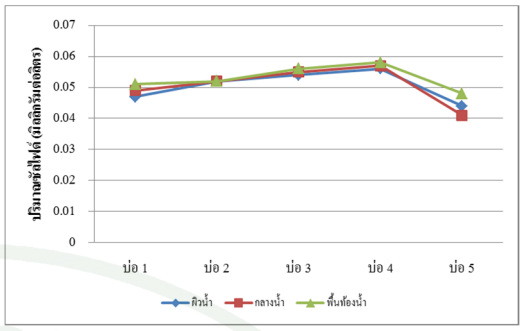
(ค)

ภาพที่ 30 ปริมาณซัลไฟด์ในตัวอย่างน้ำของบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียร ครั้งที่1 (ก), ครั้งที่ 2 (ข) และครั้งที่ 3 (ค) ในช่วงฤดูฝน

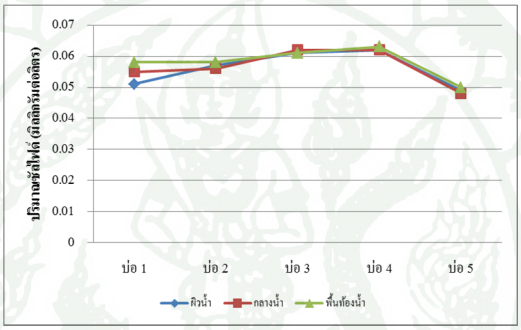
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ก)



(ข)

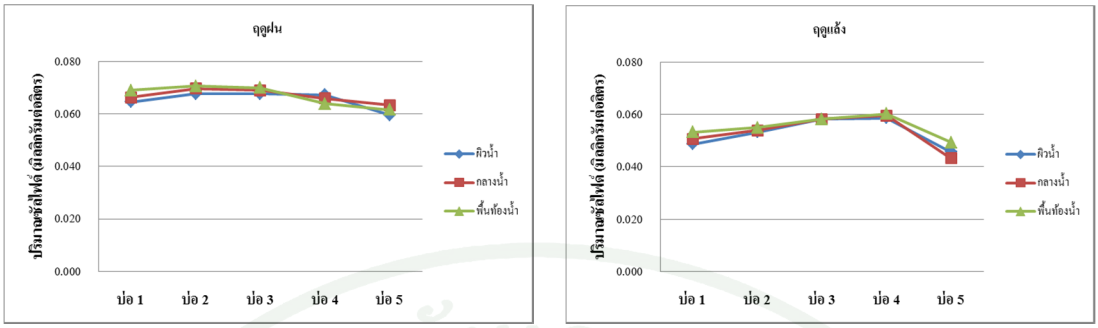


(ค)

ภาพที่ 31 ปริมาณซัลไฟด์ในตัวอย่างน้ำของบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียร ครั้งที่1 (ก), ครั้งที่ 2 (ข) และครั้งที่ 3 (ค) ในช่วงฤดูแล้ง

จากภาพที่ 32 เป็นการแสดงปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยของฤดูแล้งและฤดูฝน พบว่าในฤดูฝนตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปจนถึงบ่อปรับสภาพ มีค่าปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ย 0.060-0.071 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในฤดูแล้ง มีค่าปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ย 0.043-0.060 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าฤดูกาลนั้นไม่มีผลต่อปริมาณซัลไฟด์ในระบบบ่อบำบัดน้ำเสียเช่นเดียวกันกับระดับความลึก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



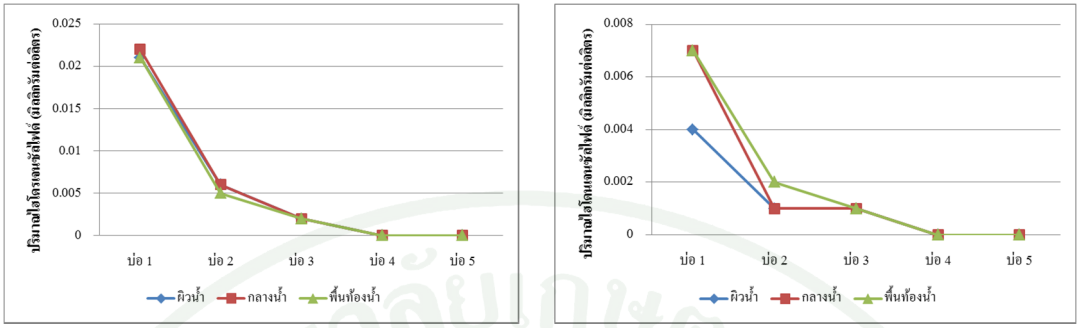
ภาพที่ 32 ปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยในตัวอย่างน้ำจากระบบบ่อปรับเสถียรทั้ง 5 บ่อ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

6.2 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์

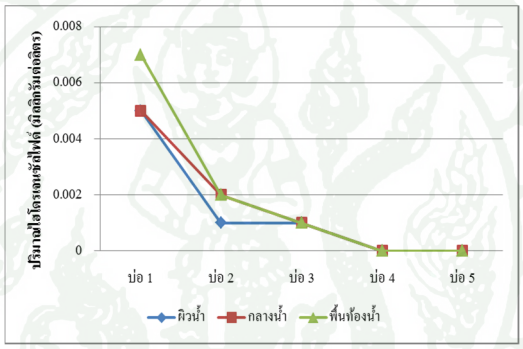
จากการวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์จากระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ คือ ผิวน้ำ กลางน้ำ และพื้นท้องน้ำ ผลการวิเคราะห์พบว่า ทั้ง 3 ครั้ง ที่เก็บตัวอย่างน้ำในฤดูฝนและฤดูแล้ง ตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปจนถึงบ่อปรับสภาพทั้ง 3 ระดับน้ำ ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนมีค่าเป็นศูนย์ในบ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ โดยปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปจนถึงบ่อผึ่งที่ 2 อยู่ในช่วง 0.001-0.021 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 33 และ 34) แสดงให้เห็นว่าระดับความลึกของน้ำทุกบ่อไม่มีผลต่อปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบบ่อปรับเสถียร ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์มีปริมาณน้อยมากและมีค่าที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด (1 มิลลิกรัมต่อลิตร) (กรมควบคุมมลพิษ)

เมื่อพิจารณาจากวัฏจักรซัลเฟอร์ อธิบายได้ว่า บ่อตกตะกอนซึ่งเป็นบ่อแรกที่น้ำเข้าสู่ระบบบ่อปรับเสถียร ในบ่อนี้จะเกิดปฏิกิริยาดีซัลเฟอเรชัน (Desulfuration) โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์เป็นส่วนประกอบไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเมื่อน้ำผ่านไปยังบ่อผึ่งที่ 1, บ่อผึ่งที่ 2 จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) จึงทำให้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงตามลำดับ ส่วนในบ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพที่ไม่พบไฮโดรเจนซัลไฟด์เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ถูกเปลี่ยนไปเป็นซัลเฟต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



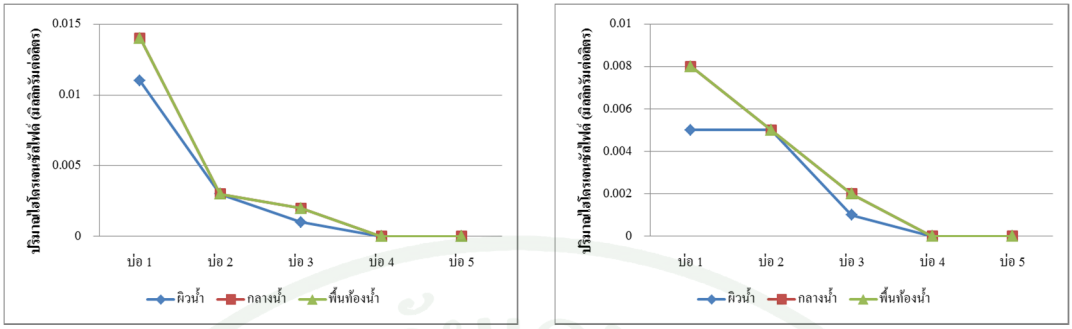
(ก) (ข)



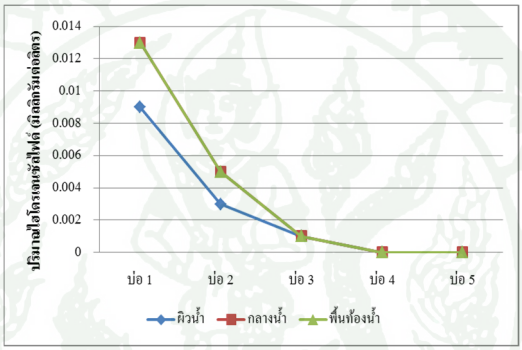
(ค)

ภาพที่ 33 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในตัวอย่างน้ำของบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียร ครั้งที่1 (ก), ครั้งที่ 2 (ข) และครั้งที่ 3 (ค) ในช่วงฤดูฝน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ก) (ข)

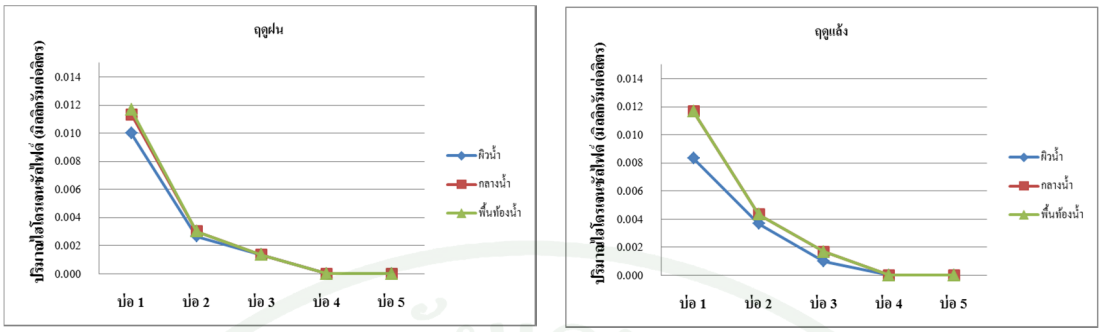


(ค)

ภาพที่ 34 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในตัวอย่างน้ำของบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียร ครั้งที่1 (ก), ครั้งที่ 2 (ข) และครั้งที่ 3 (ค) ในช่วงฤดูแล้ง

จากภาพที่ 35 เป็นการแสดงปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยของฤดูแล้งและฤดูฝน พบว่าตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปจนถึงบ่อผึ่งที่ 2 มีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ย 0.001-0.012 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าฤดูกาลไม่มีผลต่อปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบบ่อบำบัดน้ำเสียเช่นเดียวกันกับระดับความลึก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 35 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยในตัวอย่างน้ำจากระบบบ่อปรับเสถียรทั้ง 5 บ่อ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

6.3 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน

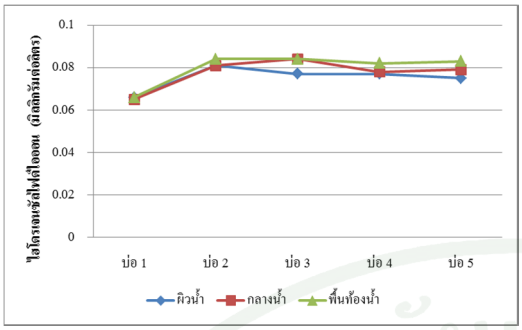
จากการวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนจากระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ คือ ผิวน้ำ กลางน้ำ และพื้นท้องน้ำ ผลการวิเคราะห์พบว่าทั้ง 3 ครั้งที่เก็บตัวอย่างน้ำในฤดูฝนตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปจนถึงบ่อปรับสภาพ ทั้ง 3 ระดับน้ำมีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.050-0.082 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 36) ส่วนในฤดูแล้งการเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 3 ครั้ง พบว่าปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนอยู่ในช่วง 0.036-0.073 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 37) แสดงให้เห็นว่าระดับความลึกของน้ำทุกบ่อไม่มีผลต่อปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนในระบบบ่อปรับเสถียร และเมื่อพิจารณาทั้งสองฤดูกาลตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปจนถึงบ่อผึ่งที่ 3 พบว่ามีแนวโน้มปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และลดลงในบ่อปรับสภาพ

เมื่อศึกษางานวิจัยของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2543) ทำให้ทราบว่าระบบบ่อปรับเสถียรมีความจุของบ่อบำบัดลดลง ทำให้ระยะเวลากักพักน้ำเสียยาวนานกว่าที่ออกแบบไว้ โดยพบว่า บ่อตกตะกอน, บ่อผึ่งที่ 1, บ่อผึ่งที่ 2, บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพมีระยะเวลากักพักน้ำเสียเท่ากับ 8, 13, 15, 19 และ 27 วัน ซึ่งใช้เวลารวม 82 วัน ระยะเวลากักพักที่ยาวนานขึ้น ทำให้ของเสียถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แปรสภาพเป็นสารอนินทรีย์ พวกแพลงก์ตอนพืชจะนำธาตุอาหารไปใช้ และเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เมื่อเติบโตมากขึ้นก็จะตายลง จากนั้นจุลินทรีย์ในบ่อจะมีการใช้ซัลเฟตในการหายใจซึ่งเป็นการรีดิวซ์ซัลเฟตแบบสลาย (dissimilatory sulfate reduction) เกิดในสภาวะไร้อากาศ จึงทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนขึ้น ระยะเวลากักพักน้ำเสียจะสัมพันธ์กับปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์

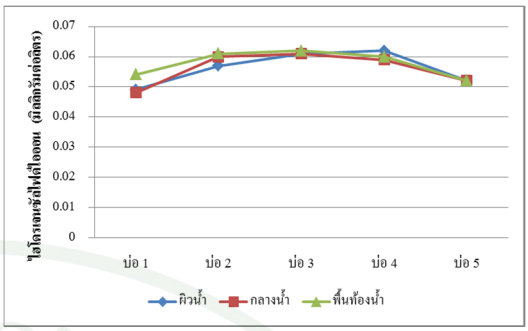
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไอออน กล่าวคือ ระยะเวลากักพักน้ำเสียนาน แพลงก์ตอนในระบบจะเจริญเติบโต แล้วตายลง จึงทำให้ค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลากักพักน้ำเสียของแต่ละบ่อ ส่วนบ่อปรับสภาพที่มีระยะเวลากักพักน้ำนานที่สุด คือ 27 วัน แต่ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนกลับมีค่าต่ำลง เนื่องมาจากบ่อปรับเสถียรมีความลึกเพียง 1.228 เมตร เมื่อได้รับลมและแสงแดดเต็มที่ ทำให้ปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้น ในบ่อปรับสภาพจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเปลี่ยนรูปซัลเฟอร์ไปเป็นซัลเฟตมากกว่าที่จะเกิดปฏิกิริยาการรีดิวซ์ซัลเฟตให้เป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน ประกอบกับบ่อปรับสภาพมีความเค็มของน้ำมากที่สุด ซึ่งค่าความเค็มนี้อาจมีผลต่อจุลินทรีย์บางชนิดให้หยุดการเจริญเติบโตได้ (ณรงค์, 2525) ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์เกิดขึ้นไม่ดี แพลงก์ตอนจึงนำธาตุอาหารไปใช้ได้น้อยลง เจริญเติบโตช้าและตายน้อยลง ปริมาณไอออนไฮโดรเจนซัลไฟด์จึงลดลงในบ่อนี้

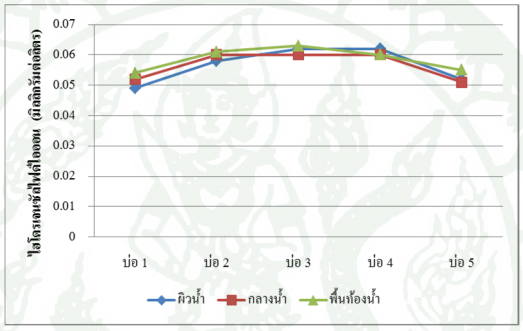
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ก)



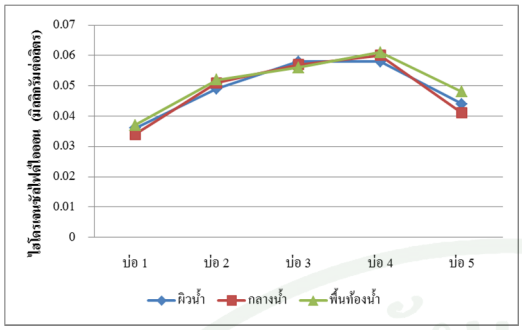
(ข)



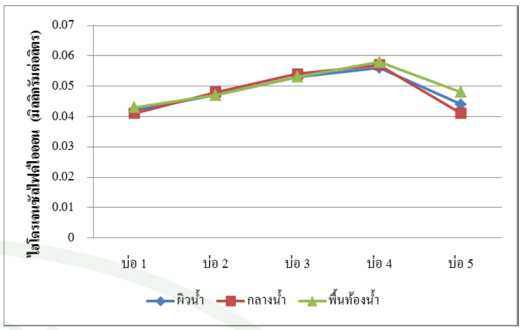
(ค)

ภาพที่ 36 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนในตัวอย่างน้ำของบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียร ครั้งที่1(ก), ครั้งที่ 2 (ข) และครั้งที่ 3 (ค) ในช่วงฤดูฝน

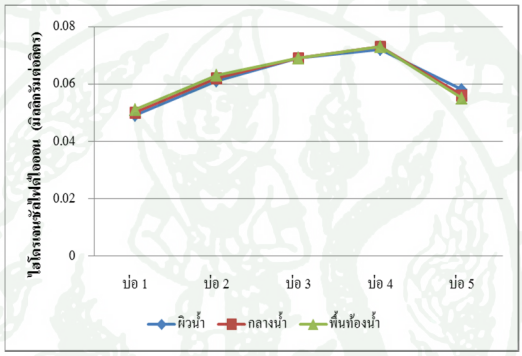
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ก)



(ข)

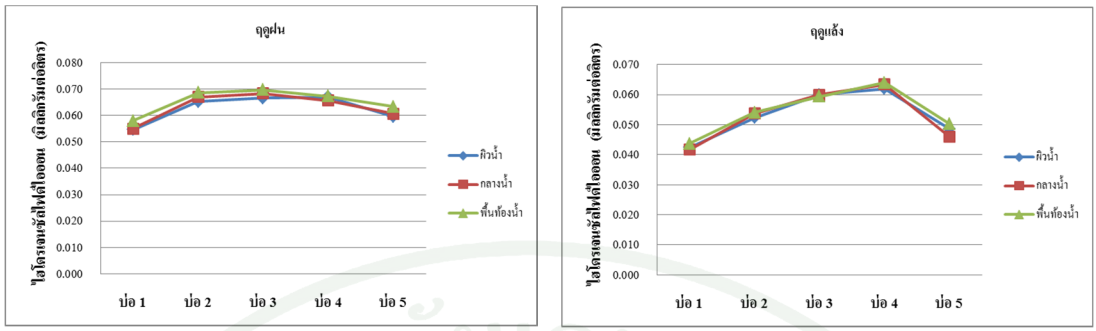


(ค)

ภาพที่ 37 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนในตัวอย่างน้ำของบ่อทั้ง 5 บ่อจากระบบบ่อปรับเสถียร ครั้งที่1(ก), ครั้งที่ 2 (ข) และครั้งที่ 3 (ค) ในช่วงฤดูแล้ง

จากภาพที่ 38 เป็นการแสดงปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนเฉลี่ยของฤดูแล้งและฤดูฝน พบว่าตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปจนถึงบ่อผึ่งที่ 2 มีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนเฉลี่ย 0.042-0.070 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าฤดูกาลไม่มีผลต่อปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนในระบบบ่อบำบัดน้ำเสียเช่นเดียวกันกับระดับความลึก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 38 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนเฉลี่ยในตัวอย่างน้ำจากระบบบ่อปรับเสถียรทั้ง 5 บ่อ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

7. ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตในตะกอนดิน

จากการศึกษาโดยวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตในตะกอนดินทั้ง 5 บ่อ ได้แก่ บ่อตกตะกอน, บ่อผึ่งที่ 1, บ่อผึ่งที่ 2, บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ โดยแต่ละบ่อเก็บ 5 จุด นำมาผสมกัน เก็บ 2 ช่วงฤดูกาล คือ ฤดูฝนและฤดูแล้ง แต่ละฤดูกาลเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง ในฤดูฝนเก็บในเดือนสิงหาคม (ครั้งที่ 1), เดือนกันยายน (ครั้งที่ 2) และเดือนพฤศจิกายน (ครั้งที่ 3) พ.ศ.2556 ส่วนในฤดูแล้งเก็บในเดือนมกราคม (ครั้งที่ 1), เดือนกุมภาพันธ์ (ครั้งที่ 2) และเดือนมีนาคม (ครั้งที่ 3) พ.ศ.2557 ได้ผลดังตารางที่ 17

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

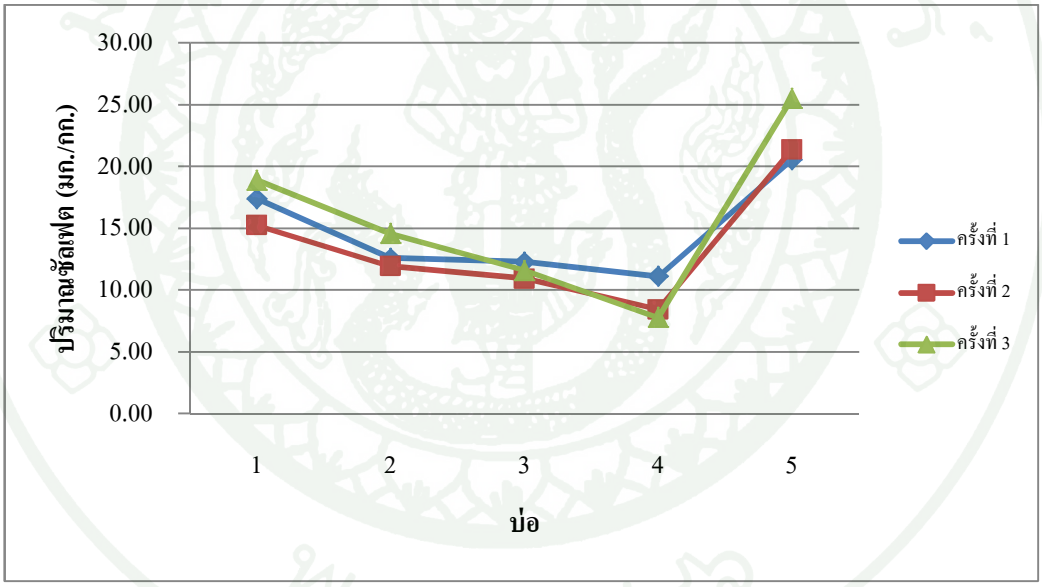
ตารางที่ 17 ปริมาณซัลเฟตของตะกอนดินจากบ่อทั้ง 5 บ่อของระบบบ่อปรับเสถียร

ฤดูกาล	บ่อบำบัด	ปริมาณซัลเฟอร์ในตะกอนดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)					
		ซัลเฟต			ซัลไฟด์		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ฤดูฝน	บ่อตกตะกอน	17.413	15.257	18.905	0.669	0.642	0.509
	บ่อผึ่งที่ 1	12.604	11.940	14.594	0.694	0.605	0.514
	บ่อผึ่งที่ 2	12.272	10.945	11.609	0.617	0.619	0.544
	บ่อผึ่งที่ 3	11.111	8.458	7.794	0.636	0.575	0.551
	บ่อปรับสภาพ	20.564	21.393	25.539	0.667	0.642	0.528
ฤดูแล้ง	บ่อตกตะกอน	14.428	18.905	19.569	0.458	0.495	0.679
	บ่อผึ่งที่ 1	13.101	14.594	15.920	0.509	0.528	0.710
	บ่อผึ่งที่ 2	10.116	9.121	8.955	0.508	0.524	0.690
	บ่อผึ่งที่ 3	6.633	5.804	6.799	0.508	0.531	0.670
	บ่อปรับสภาพ	28.856	29.353	26.534	0.551	0.561	0.697

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตในตะกอนดินทั้ง 5 บ่อ พบว่าการเก็บตัวอย่างในฤดูฝนในครั้งที่ 1 ปริมาณซัลเฟตตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปจนถึงบ่อปรับสภาพเท่ากับ17.41, 12.60, 12.27, 11.11 และ 20.56 มก./กก. ตามลำดับ ครั้งที่ 2 มีปริมาณซัลเฟตเท่ากับ 15.26, 11.94, 10.95, 8.46 และ 21.39 มก./กก. ตามลำดับ และครั้งที่ 3 ปริมาณซัลเฟตเท่ากับ 18.91, 14.59, 11.61, 7.79 และ 25.54 มก./กก. ตามลำดับ ส่วนในฤดูแล้ง ปริมาณซัลเฟตในตะกอนดิน ครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 14.43, 13.10, 10.12, 6.63 และ 28.86 มก./กก. ตามลำดับ ครั้งที่ 2 มีปริมาณซัลเฟตเท่ากับ 18.91, 14.59, 9.12, 5.80 และ 29.35 มก./กก. ตามลำดับ และครั้งที่ 3 มีปริมาณซัลเฟตเท่ากับ 19.57, 15.92, 8.96, 6.80 และ 26.53 มก./กก. ตามลำดับ เห็นได้ว่าทั้งสองฤดูกาล ปริมาณซัลเฟตทั้ง 3 ครั้งมีค่าที่ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเหมือนกันคือ ปริมาณซัลเฟตมากที่สุดในบ่อตกตะกอนและค่อยๆลดลงในบ่อผึ่งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในบ่อปรับสภาพ (ภาพที่ 39 และ 40) เมื่อพิจารณาปริมาณซัลเฟตเฉลี่ยในดิน (ภาพที่ 41) ทำให้ทราบว่าฤดูกาลไม่มีผลต่อปริมาณซัลเฟตในตะกอนดิน

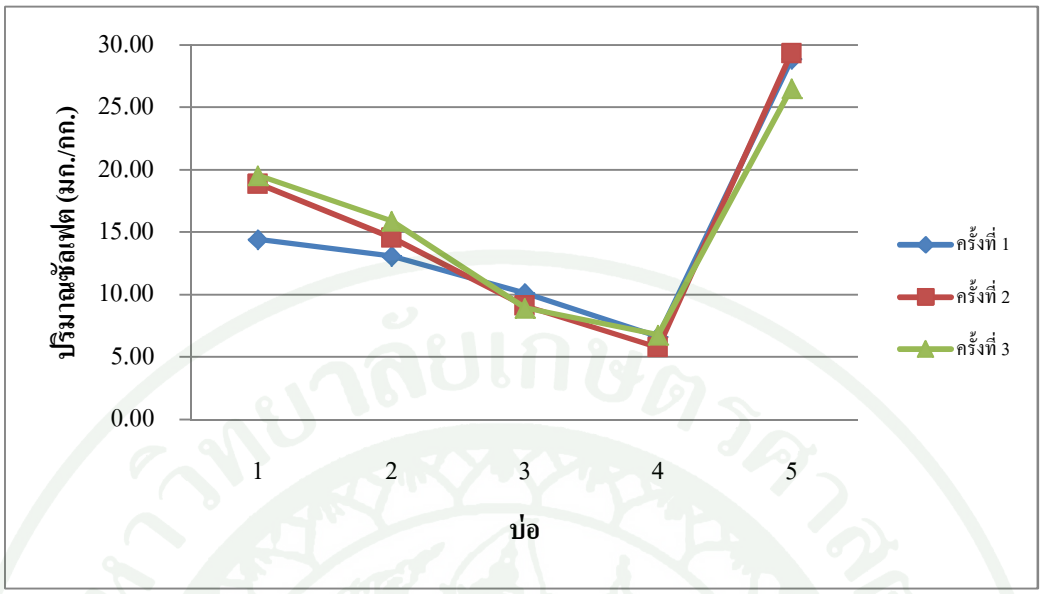
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากปริมาณซัลเฟตในตัวอย่างน้ำของบ่อตกตะกอนไปถึงบ่อผึ่งที่ 3 นั้นไม่พบซัลเฟตแต่พบในตะกอนดิน เมื่อพิจารณาจากวัฏจักรซัลเฟอร์ อธิบายได้ว่าเนื่องจากในบ่อตกตะกอนมีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงที่สุด จึงอาจเกิดปฏิกิริยาโฟโตโทรฟิกออกซิเดชัน (Phototrophic oxidation) ที่มีการเปลี่ยนแปลงแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นเม็ดซัลเฟอร์และในที่สุดจะเป็นซัลเฟต แต่ซัลเฟตที่เกิดขึ้นมีปริมาณที่น้อยมากจึงไม่สามารถตรวจพบได้ และซัลเฟตจะตกลงไปยังพื้นบ่อและสะสมในตะกอนดินเป็นระยะเวลานาน จึงทำให้ตรวจพบซัลเฟตในตะกอนดินได้ ส่วนแนวโน้มปริมาณซัลเฟตที่ลดลงเรื่อยๆตั้งแต่บ่อผึ่งที่ 1 ถึง บ่อผึ่งที่ 3 เนื่องจากซัลเฟตถูกจุลินทรีย์ใช้ไปในการย่อยสลาย ส่วนบ่อปรับสภาพจะมีปริมาณซัลเฟตในตะกอนดินที่สูงมากกว่าบ่ออื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับค่าซัลเฟตในน้ำที่ตรวจพบได้เฉพาะบ่อปรับสภาพ อีกทั้งยัง แสดงให้เห็นว่าซัลเฟตในน้ำมีการถ่ายโอนไปสะสมเป็นตะกอนดิน

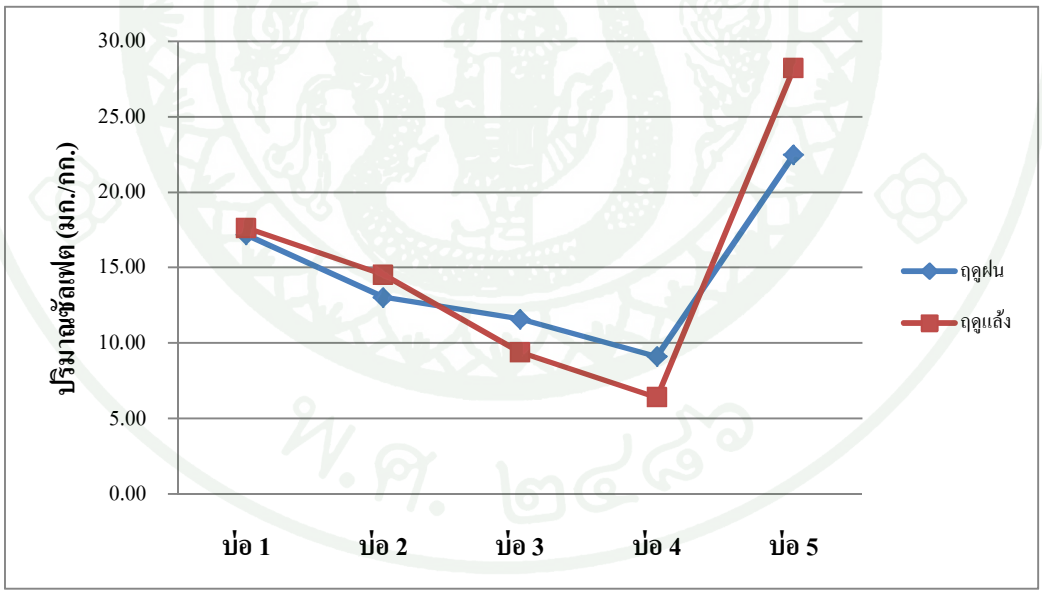


ภาพที่ 39 ปริมาณซัลเฟตของตะกอนดินในบ่อทั้ง 5 บ่อของระบบบ่อปรับเสถียร ช่วงฤดูฝน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 40 ปริมาณซัลเฟตของตะกอนดินในบ่อทั้ง 5 บ่อของระบบบ่อปรับเสถียร ช่วงฤดูแล้ง



ภาพที่ 41 ปริมาณซัลเฟตเฉลี่ยของตะกอนดินในบ่อทั้ง 5 บ่อของระบบบ่อปรับเสถียร ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

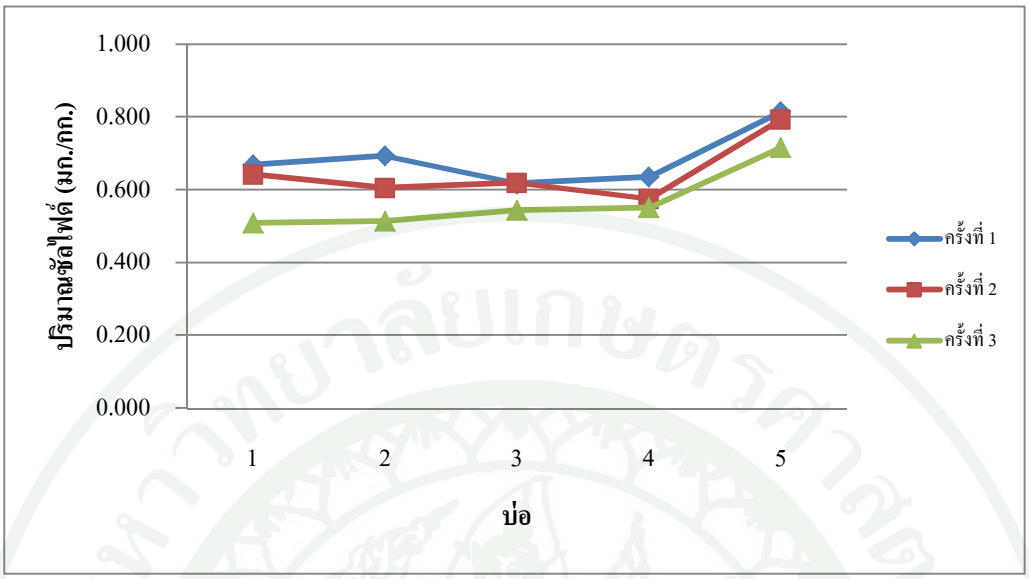
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ในตะกอนดิน

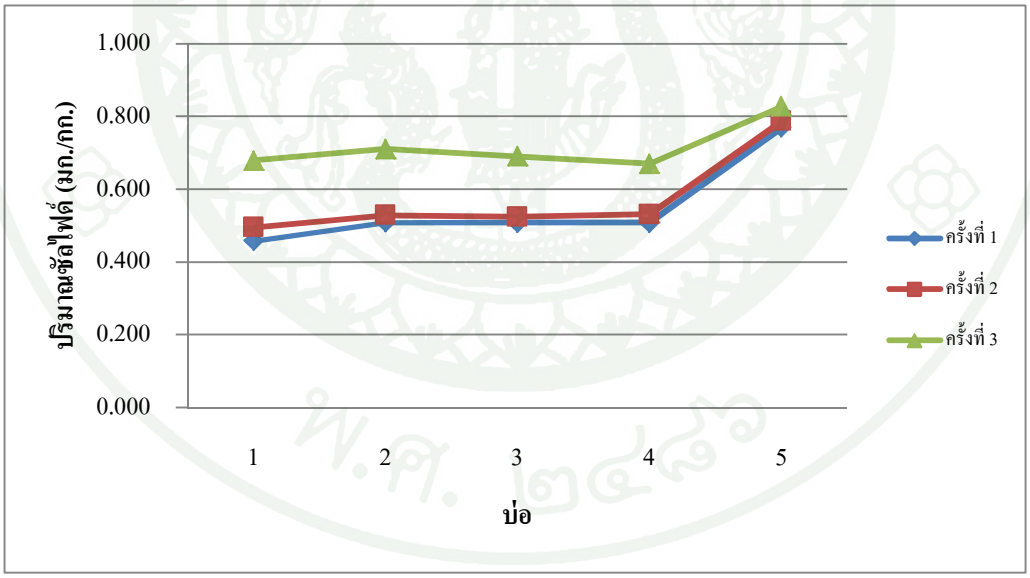
จากการศึกษาโดยวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ในตะกอนดินทั้ง 5 บ่อ ได้แก่ บ่อตกตะกอน, บ่อผึ่งที่ 1, บ่อผึ่งที่ 2, บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ โดยแต่ละบ่อเก็บ 5 จุด นำมาผสมกัน เก็บ 2 ช่วงฤดูกาล คือ ฤดูฝนและฤดูแล้ง แต่ละฤดูกาลเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง ในฤดูฝนเก็บในเดือนสิงหาคม (ครั้งที่ 1), เดือนกันยายน (ครั้งที่ 2) และเดือนพฤศจิกายน (ครั้งที่ 3) พ.ศ.2556 ส่วนในฤดูแล้งเก็บในเดือนมกราคม (ครั้งที่ 1), เดือนกุมภาพันธ์ (ครั้งที่ 2) และเดือนมีนาคม (ครั้งที่ 3) พ.ศ.2557 ได้ผลดังตารางที่ 17

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ในตะกอนดินทั้ง 5 บ่อ พบว่า 3 ครั้งที่เก็บตัวอย่างตะกอนดินในฤดูฝน ตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปยังบ่อปรับสภาพ ปริมาณซัลไฟด์จะใกล้เคียงกันมาก แต่จะพบปริมาณซัลไฟด์ในตะกอนดินมากที่สุดในบ่อปรับสภาพ โดยปริมาณซัลไฟด์จะอยู่ในช่วง 0.509-0.815 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 42) ส่วนในฤดูแล้ง ปริมาณซัลไฟด์จะอยู่ในช่วง 0.458-0.827 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 43) ซึ่งถือว่ามีปริมาณซัลไฟด์น้อยมากเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Pradit (2010) ที่รายงานว่าปริมาณซัลไฟด์ในตะกอนดินที่ทะเลสาบสงขลา มีค่าอยู่ระหว่าง 0.000-5.741 มิลลิกรัมต่อกรัม Chareonpanich (1999) พบซัลไฟด์ในตะกอนดินที่มีค่าสูงใกล้ฝั่งอ่าวไทย โดยเฉพาะบริเวณเกาะสมุย ซึ่งมีซัลไฟด์สูงถึง 0.256 มิลลิกรัมต่อกรัม และ Tsutsumi (1983) ก็พบซัลไฟด์ที่มีค่าสูงบริเวณใกล้เกาะสมุย ซึ่งมีค่าสูงถึง 1.49 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อพิจารณาปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยในดิน (ภาพที่ 44) แล้วจะเห็นว่าทั้งสองฤดูกาล ปริมาณซัลไฟด์ในตะกอนดินของแต่ละบ่อมีค่าไม่ต่างกันมาก ทำให้ทราบว่าฤดูกาลไม่มีผลต่อซัลไฟด์ในตะกอนดิน และเหตุที่ทำให้ซัลไฟด์ในตะกอนดินมีปริมาณมากที่สุดในบ่อสุดท้าย เนื่องจากปริมาณซัลเฟตที่มากที่สุดในบ่อสุดท้ายเช่นเดียวกันจึงมีการเปลี่ยนรูปซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์โดยกลุ่มแบคทีเรียที่ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินโดยไม่ใช้ออกซิเจนแต่จะใช้ซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในการทำปฏิกิริยา เรียกแบคทีเรียกลุ่มนี้ว่า รีดิวซิงค์ซัลเฟตแบคทีเรีย ผลจากปฏิกิริยารีดักชันของแบคทีเรียจึงทำให้เกิดซัลไฟด์ออกมาสะสมอยู่ในตะกอนดินได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

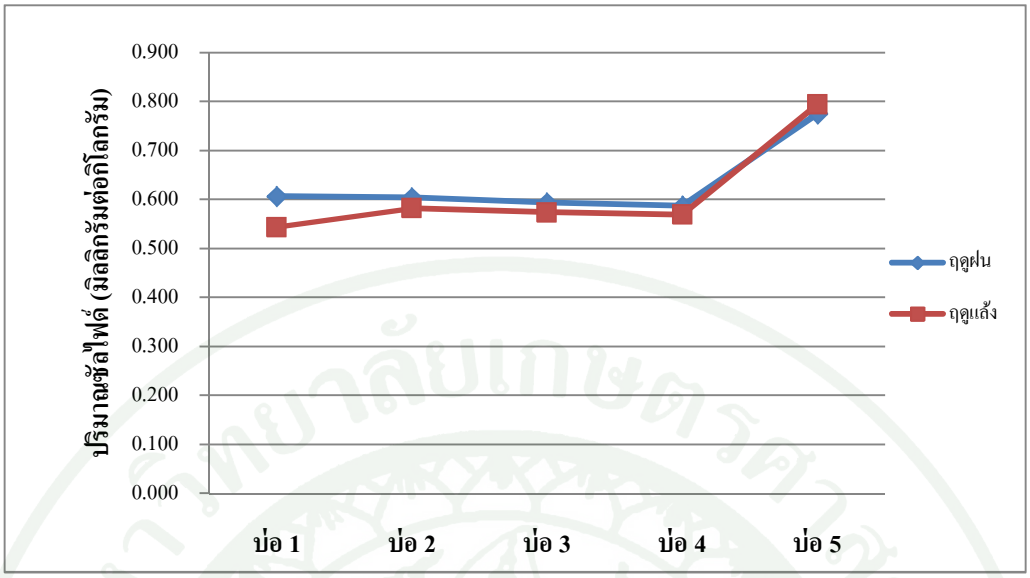


ภาพที่ 42 ปริมาณซัลไฟด์ของตะกอนดินในบ่อทั้ง 5 บ่อของระบบบ่อปรับเสถียร ช่วงฤดูฝน



ภาพที่ 43 ปริมาณซัลไฟด์ของตะกอนดินในบ่อทั้ง 5 บ่อของระบบบ่อปรับเสถียร ช่วงฤดูแล้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 44 ปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยของตะกอนดินในบ่อทั้ง 5 บ่อของระบบบ่อปรับเสถียร ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

9. ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟอร์ของระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย

จากการศึกษาโดยการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ในรูป ซัลเฟต, ซัลไฟด์, ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนในน้ำตัวอย่างของบ่อตกตะกอนซึ่งเป็นบ่อแรกที่น้ำเข้าสู่ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย และน้ำตัวอย่างของบ่อปรับสภาพซึ่งเป็นบ่อสุดท้ายก่อนที่น้ำจะออกจากระบบบ่อปรับเสถียร เมื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดพบว่า ระบบบ่อปรับเสถียรไม่สามารถบำบัดซัลเฟตได้เพราะน้ำเริ่มต้นไม่มีซัลเฟต แต่พบว่ามีซัลเฟตในบ่อสุดท้ายเนื่องจากในบ่อปรับสภาพมีความลึกของบ่อน้อยที่สุด เมื่อได้รับอิทธิพลของแดดและลม ทำให้เป็นการเพิ่มออกซิเจนสู่แหล่งน้ำ ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเปลี่ยนรูปซัลไฟด์ไปเป็นซัลเฟต จึงพบซัลเฟตในบ่อสุดท้าย ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดซัลไฟด์ในฤดูฝนสามารถบำบัดได้ร้อยละ 6.90 ส่วนในฤดูแล้งสามารถบำบัดได้ร้อยละ 9.35 แสดงให้เห็นว่าในฤดูแล้งสามารถบำบัดซัลไฟด์ได้ดีกว่าในฤดูฝน เป็นเพราะฤดูฝนท้องฟ้ามืดครึ้ม แสงแดดส่องได้ไม่ถึง จึงทำให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดได้ไม่ดี แต่ทั้งสองฤดูกาล ปริมาณซัลไฟด์ที่ผ่านกระบวนการบำบัดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร) ประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าทั้งสองฤดูกาลสามารถบำบัดได้ร้อยละ 100 ส่วนไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน พบว่าระบบบ่อปรับเสถียรไม่สามารถบำบัดได้แต่ก็มีปริมาณน้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณซัลเฟต ซัลไฟด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนในน้ำ และศึกษาปริมาณซัลเฟตและซัลไฟด์ในตะกอนดินจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบ่อปรับเสถียรที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนของโครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยทำการศึกษาในเรื่องต่างๆ คือ ปัจจัยที่มีผล (ฤดูกาล, ความลึกของระดับน้ำ) ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟอร์ของระบบบ่อปรับเสถียร และการเปลี่ยนแปลงตามวัฏจักรชีวธรณีเคมีของธาตุซัลเฟอร์ ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. การศึกษาปริมาณซัลเฟตในตัวอย่างน้ำที่เก็บจากระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ คือ ผิวน้ำ กลางน้ำ และพื้นท้องน้ำ พบว่าตลอดการเก็บตัวอย่างน้ำในฤดูฝน 3 ครั้ง ตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปจนถึงบ่อผึ่งที่ 3 ทั้ง 3 ระดับน้ำไม่พบปริมาณซัลเฟตอยู่ แต่จะพบซัลเฟตปริมาณน้อยมากอยู่ที่บ่อปรับสภาพ ส่วนในฤดูแล้งจะไม่พบปริมาณซัลเฟตเลยตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปจนถึงบ่อปรับสภาพ เป็นเพราะในบ่อปรับสภาพนั้นมีความลึกที่น้อย เมื่อได้รับอิทธิพลจากลมและแสงแดดเต็มที่ จึงทำให้น้ำในบ่อปรับสภาพได้รับการเติมออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในวัฏจักรซัลเฟอร์เกิดได้ดี โดยแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นสารตั้งต้นและแก๊สออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนเปลี่ยนไปเป็นซัลเฟต ส่วนปริมาณซัลเฟตที่ตรวจไม่พบในบ่อตกตะกอนจนถึงบ่อผึ่งที่ 3 เนื่องจากการลดลงของปริมาณซัลเฟตตามระยะทางในการส่งน้ำเสียก่อนถึงบ่อตกตะกอน โดยจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟตของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ทำให้ซัลเฟตเปลี่ยนเป็นซัลไฟด์

2. การศึกษาปริมาณซัลไฟด์จากระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ คือ ผิวน้ำ กลางน้ำ และพื้นท้องน้ำ พบว่า ทั้ง 3 ครั้ง ที่เก็บตัวอย่างน้ำทั้งสองฤดูกาลมีปริมาณซัลไฟด์ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าระดับความลึกของน้ำทุกบ่อไม่มีผลต่อปริมาณซัลไฟด์ในระบบบ่อปรับเสถียร ความเข้มข้นของซัลไฟด์มีปริมาณน้อยมากและมีค่าที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด (1 มิลลิกรัมต่อลิตร) และจากการที่ไม่พบปริมาณซัลเฟตในบ่อตกตะกอนจนถึงบ่อผึ่งที่ 3 แต่พบว่ามีปริมาณซัลไฟด์ อธิบายได้ว่าน้ำที่เข้ามาในระบบบ่อปรับเสถียรนั้นจะอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ซัลเฟอร์ จากนั้นตั้งแต่บ่อตกตะกอนจนถึงบ่อผึ่งที่ 3 จะเกิดปฏิกิริยาดีซัลเฟอเรชันโดยถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ ทำให้เกิดซัลไฟด์ขึ้นจึงสามารถตรวจพบได้ ส่วนในบ่อปรับสภาพพบว่าปริมาณซัลไฟด์ลดลง เนื่องจากบ่อปรับสภาพนั้นมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความลึกน้อยที่สุด เมื่อได้รับอิทธิพลจากลมและแสงแดดจึงทำให้น้ำในบ่อปรับสภาพได้รับการเติมออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในวัฏจักรซัลเฟอร์เกิดได้ดี โดยซัลไฟด์ จะถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนจึงเปลี่ยนไปเป็นซัลเฟต (SO_4^{2-})

3. การศึกษาปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์จากระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ คือ ผิวน้ำ กลางน้ำ และพื้นท้องน้ำ พบว่า ทั้ง 3 ครั้ง ที่เก็บตัวอย่างน้ำในฤดูฝนและฤดูแล้ง ตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปจนถึงบ่อปรับสภาพทั้ง 3 ระดับน้ำ ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนมีค่าเป็นศูนย์ในบ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ แสดงให้เห็นว่าระดับความลึกของน้ำทุกบ่อไม่มีผลต่อปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบบ่อปรับเสถียร เมื่อพิจารณาจากวัฏจักรซัลเฟอร์ อธิบายได้ว่า บ่อตกตะกอนซึ่งเป็นบ่อแรกที่น้ำเข้าสู่ระบบบ่อปรับเสถียร ในบ่อนี้จะเกิดปฏิกิริยาดีซัลเฟอเรชัน (Desulfuration) โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์เป็นส่วนประกอบไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเมื่อน้ำผ่านไปยังบ่อผึ่งที่ 1, บ่อผึ่งที่ 2 จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) จึงทำให้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงตามลำดับ ส่วนในบ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพที่ไม่พบไฮโดรเจนซัลไฟด์เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ถูกเปลี่ยนไปเป็นซัลเฟต

4. การศึกษาปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนจากระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ คือ ผิวน้ำ กลางน้ำ และพื้นท้องน้ำ พบว่าทั้ง 3 ครั้งที่เก็บตัวอย่างน้ำในฤดูฝนและฤดูแล้งตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปจนถึงบ่อปรับสภาพ ทั้ง 3 ระดับน้ำมีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าระดับความลึกของน้ำทุกบ่อไม่มีผลต่อปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนในระบบบ่อปรับเสถียร และเมื่อพิจารณาทั้งสองฤดูกาลตั้งแต่บ่อตกตะกอนไปจนถึงบ่อผึ่งที่ 3 พบว่ามีแนวโน้มปริมาณไอออนไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และลดลงในบ่อปรับสภาพ จากแนวโน้มปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน เมื่อศึกษาพบว่ามีความสัมพันธ์กับระยะเวลากักพักน้ำเสีย โดยตั้งแต่บ่อตกตะกอนจนถึงบ่อปรับสภาพ ระยะเวลากักพักน้ำเสียเท่ากับ 8, 13, 15, 19 และ 27 ตามลำดับ ระยะเวลากักพักที่ยาวนานขึ้น ทำให้ของเสียถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แปรสภาพเป็นสารอินทรีย์พวกแพลงก์ตอนพืชจะนำธาตุอาหารไปใช้ และเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เมื่อเติบโตมากขึ้นก็จะตายลง จากนั้นจุลินทรีย์ในบ่อจะมีการใช้ซัลเฟตในการหายใจซึ่งเป็นการรีดิวซ์ซัลเฟตแบบสลายเกิดในสภาวะไร้อากาศ จึงทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนขึ้น จึงทำให้ค่าไอออนไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลากักพักน้ำเสียของแต่ละบ่อ ส่วนบ่อปรับสภาพที่มีระยะเวลากักพักน้ำนานที่สุด คือ 27 วัน แต่ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนกลับมีค่าต่ำลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เนื่องมาจากบ่อปรับเสถียรมีความลึกเพียง 1.228 เมตร เมื่อได้รับลมและแสงแดดเต็มที่ ทำให้ปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้น ในบ่อปรับสภาพจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเปลี่ยนรูปซัลเฟอร์ไปเป็นซัลเฟตมากกว่าที่จะเกิดปฏิกิริยาการรีดิวซ์ซัลเฟตให้เป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน

5. การศึกษาปริมาณซัลเฟตในตะกอนดินทั้ง 5 บ่อพบว่าทั้งสองฤดูกาล ปริมาณซัลเฟตทั้ง 3 ครั้งมีค่าที่ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเหมือนกันคือ ปริมาณซัลเฟตมากที่สุดในบ่อตกตะกอนและค่อยๆลดลงในบ่อผึ่งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในบ่อปรับสภาพ ทำให้ทราบว่าฤดูกาลไม่มีผลต่อปริมาณซัลเฟตในตะกอนดิน และจากปริมาณซัลเฟตในตัวอย่างน้ำของบ่อตกตะกอนไปถึงบ่อผึ่งที่ 3 นั้นไม่พบซัลเฟตแต่พบในตะกอนดิน อธิบายได้ว่าเนื่องจากในบ่อตกตะกอนมีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงกว่าบ่ออื่นๆ จึงอาจเกิดปฏิกิริยาโฟโตโทรฟิกออกซิเดชัน (Phototrophic oxidation) ที่มีการเปลี่ยนแปลงแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นเม็ดซัลเฟอร์และในที่สุดจะเป็นซัลเฟต แต่ซัลเฟตที่เกิดขึ้นมีปริมาณที่น้อยมากจึงไม่สามารถตรวจพบได้ และซัลเฟตจะตกลงไปยังพื้นบ่อและสะสมในตะกอนดินเป็นระยะเวลานาน จึงทำให้ตรวจพบซัลเฟตในตะกอนดินได้ ส่วนแนวโน้มปริมาณซัลเฟตที่ลดลงเรื่อยๆตั้งแต่บ่อผึ่งที่ 1 ถึง บ่อผึ่งที่ 3 เนื่องจากซัลเฟตถูกจุลินทรีย์ใช้ไปในการย่อยสลาย ส่วนบ่อปรับสภาพจะมีปริมาณซัลเฟตในตะกอนดินที่สูงมากกว่าบ่ออื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับค่าซัลเฟตในน้ำที่ตรวจพบได้เฉพาะบ่อปรับสภาพ อีกทั้งยัง แสดงให้เห็นว่าซัลเฟตในน้ำมีการถ่ายโอนไปสะสมเป็นตะกอนดิน

6. การศึกษาปริมาณซัลไฟด์ในตะกอนดินทั้ง 5 บ่อ พบว่าทั้ง 3 ครั้งที่เก็บตัวอย่างในตะกอนดินในฤดูฝนและฤดูแล้ง มีปริมาณซัลไฟด์ใกล้เคียงกันแต่จะพบซัลไฟด์มากที่สุดในบ่อปรับสภาพ เมื่อพิจารณาปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยในดิน ทำให้ทราบว่าฤดูกาลไม่มีผลต่อปริมาณซัลไฟด์ในตะกอนดิน และสาเหตุที่มีซัลไฟด์ในตะกอนดินมากที่สุดในบ่อปรับสภาพ เนื่องจากปริมาณซัลเฟตมีมากที่สุดในบ่อนี้เช่นเดียวกัน จึงมีการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในดินในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ทำให้เกิดซัลไฟด์ออกมาสะสมในตะกอนดินได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟอร์ของระบบบ่อปรับเสถียรพบว่า ไม่สามารถบำบัดซัลเฟตได้ เพราะน้ำเข้าระบบไม่มีซัลเฟต แต่พบซัลเฟตในบ่อปรับสภาพที่เป็นบ่อสุดท้าย เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเปลี่ยนรูปซัลไฟด์เป็นซัลเฟต ส่วนการบำบัดซัลไฟด์พบว่า ในฤดูร้อนมีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 9.35 ซึ่งมากกว่าในฤดูฝนที่มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 6.90 เป็นเพราะในฤดูฝน ท้องฟ้ามืดครึ้ม ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดไม่ดี การบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้งสองฤดูกาลพบว่ามีประสิทธิภาพที่สูง โดยสามารถบำบัดได้ร้อยละ 100 ส่วนการบำบัดไอออนไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าไม่สามารถบำบัดได้ แต่ก็มีปริมาณน้อยซึ่งไม่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำ

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยปริมาณซัลเฟต ซัลไฟด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียและ ซัลเฟต และซัลไฟด์ในตะกอนดินจากบ่อปรับเสถียรที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชน ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรมีการศึกษาปริมาณซัลเฟตและซัลไฟด์ในบ่อปรับเสถียรจากแหล่งน้ำเสียชุมชนจากจังหวัดอื่นๆ เพื่อพิจารณาความแตกต่างของปริมาณซัลเฟตและซัลไฟด์ รวมถึงปัจจัยของฤดูกาล

2. ควรมีการศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดซัลไฟด์เพิ่มเติม เช่น ระยะเวลาเก็บกักของน้ำเสียในระบบบ่อปรับเสถียร และค่าศักย์ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP)

3. ระบบบ่อปรับเสถียรมีข้อด้อย คือ ไม่สามารถบำบัดซัลเฟตได้ และสามารถบำบัดซัลไฟด์ได้น้อย จึงควรพัฒนาระบบต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2537. **เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำ และมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย.** กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

_____. 2538. **เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำ และมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย.** กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

_____. 2539. **รายงานประจำปี 2548.** กรมควบคุมมลพิษ กระทรวง วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

_____. 2546. **คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่ 1.** กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545. **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

กรรณิการ์ สิริสิงห. 2549. **เคมีของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์.** พิมพ์ครั้งที่ 4. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏจันทรเกษม, กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุดมสิมโรจน์. 2552. **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัท เอส. อาร์. พริ้นติ้ง แมสโปรดักส์ จำกัด, นนทบุรี.

คณิตา ตังคณานุรักษ์. 2542. **การวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้า.** พิมพ์ครั้งที่ 1. โครงการตำราคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2541. **เอกสารข้อมูลการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำบางประการของเทศบาลเมืองเพชรบุรี.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2543. **เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ รายงานการศึกษาวิจัย วิทยาศาสตร์การกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสีย ตามแนวพระราชดำริ,** ระหว่างวันที่ 24-25 สิงหาคม 2543, กรุงเทพฯ.

ชนิษฎา จารุวิชัยพงศ์. 2538. **พฤติกรรมการใช้น้ำและการจัดการน้ำทิ้งของครัวเรือน ในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ และ พรเลิศ จันทร์รัชชกูล. 2547. **อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย.** บริษัท เมจิค พับบลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.

ณรงค์ ณ เชียงใหม่. 2525. **มลพิษสิ่งแวดล้อม.** สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ดวงพร คันธโชติ. 2545. **นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์.** สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์. 2543. **ดินที่ใช้ปลูกข้าว.** พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์. 2540. **คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 3. สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท.), กรุงเทพฯ.

นภาวรรณ นพรัตนราภรณ์. 2535. **จุลชีววิทยาของมลพิษ.** คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปราณี พันธุมสินชัย. 2537. **คู่มือการดำเนินงานควบคุมปัญหาน้ำเสียของภาครัฐบาล องค์การบริหาร และสุขาภิบาล.** เรือนแก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

เปี่ยมศักดิ์ มานะเศวต. 2539. **แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ.** พิมพ์ครั้งที่ 7. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พัฒนา มูลพฤกษ์. 2546. **อนามัยสิ่งแวดล้อม.** พิมพ์ครั้งที่ 3. หจก. เอ็น. เอส. แอล. พริ้นติ้ง, กรุงเทพฯ.

ไพบูลย์ ประพฤติธรรม. 2528. **เคมีของดิน.** ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ภมรรัตน์ แย้มจรัส. 2553. **การใช้ตัวดูดซับต้นทุนต่ำในการดูดซับน้ำที่มีซัลไฟด์ไอออนปนเปื้อน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มงคล ดำรงค์ศรี. 2531. ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน, น. 255-257. ในการอบรมทางวิชาการ การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ครั้งที่ 3 วันที่ 24-25 พฤศจิกายน 2531. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา หมวดสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ มั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์. 2545. **เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528. **คุณสมบัติของน้ำและวิธีการวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง.** สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง, กรุงเทพฯ.

ลลิตา พาณิชกรกุล. 2550. **ผลของแบคทีเรีย *Paracoccus pantotrophus* ต่อคุณภาพน้ำและผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ในการเลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัณณิภา ก้วยเจริญพานิชก์. 2547. **การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่ความลึกต่างระดับในระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วีรานุช หลาง. 2551. **จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม.** พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศิริเพ็ญ กัลยาณมิตร. 2536. **การศึกษาคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนจุฬาภรณ์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2529. **จุลชีววิทยาของดินเพื่อผลผลิตทางการเกษตร.** พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์, เจิดจรรย์ ศิริวงศ์, พนาลี ชีวกิดาการ, ภทรธร เอื้อกฤดาธิการ และธันวดี เตชะภัททวรกุล. 2553. **คุณภาพน้ำและการจัดการ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์จอยพริ้นท์, สงขลา.

สมศักดิ์ วังใน. 2528. **จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทโรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, กรุงเทพฯ.

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2545. **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ.** พิมพ์ครั้งที่ 3. เรือนแก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2552. **ระบบบำบัดน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ท้อป, กรุงเทพ.

สุกัญญา สารณาคมน์กุล. 2548. **การศึกษาคุณสมบัติบางประการของน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของพุทธรักษา ธรรมรักษา ขิงแดง ในสภาพน้ำขังสลับแห้งของดินร่วมกับพืช.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. 2549. **เทคโนโลยีน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์. 2548. **จุลชีววิทยาของน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุรศักดิ์ พรรณภัทรพงษ์. 2540. **ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยบ่อบำบัดน้ำเสีย จังหวัดเพชรบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสกสรรค์ เทพพิทักษ์. 2543. **การสะสมตะกอนในระบบรวบรวมน้ำเสียและระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย จังหวัดเพชรบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสริมพล รัตนสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525. **การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน.** โรงพิมพ์สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

อาภรณ์ ยิ่งยง. 2539. **การบำบัดบีโอดีและซีโอดีในน้ำเสียชุมขนเมืองเพชรบุรีในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อำพิน กันธิยะ, 2540. **การควบคุมการผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยวิธีจุลชีววิทยา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

APHA, AWWA and WEF. 1995. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater.** 19 th ed., American Public Health Association, Washington D.C.

Barnes, R. S. K. and R. N. Hughes. 1982. **An Introduction to Marine Ecology.** Blackwell Scientific Publ., Oxford, London.

Boon, A. G. 1995. Septicity in sewers: causes, consequences and containment. **Wat. Sci. Tech.** 31 (7): 237-253.

Boyd, C.E. 1990. **Water Quality in Pond for Aquaculture.** Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University.

_____. 1995. **Bottom Soils, Sediment and Pond Aquaculture.** Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama, USA.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Brown, A. C. and A. McLachlan. 1990. **Ecology of Sandy Shores.** Elsevier Sciences B. V., Amsterdam.

Chalas, J.G., G. Tchobanaglous and F.L. Burton. 1991. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse.** 3d ed., McGrew-Hill, Inc., New York.

Chareonpanich, C. and Seurungreong, S. 1999. **Some Physical and Chemical Characteristics of Bottom Sediments in the South China Sea.** SEAFDEC Proceedings of the First Technical Seminar on Marine Fishery Resources Survey in the South China Sea, Area I. Gulf of Thailand and East Coast of Peninsular Malaysia. 24-26 November 1997, Bangkok, Thailand.

Charlson R.J., Anderson T.L. and McDuff R.E.. 1992. **The sulfer cycle.** In Butcher S.S., Charlson R.J., Orians G.H. and Wolfe G.V. (Eds.), Global Biogeochemical cycle, Press Limited, California.

Cheremisinoff, P. N. 1995. **Handbook of Water and Wastewater Treatment Technology.** Marcel Dekker, Inc., New Jersy, USA.

Dague, R. R. 1972. Fundamental of odor control. **J. Wat. Control Fed.** 44 (4): 583-589.

Dunnettle, D. A., D. P. Chynoweth and K. H. Mascy. 1985. The source of hydrogen sulfide in aerobic sediment. **Wat. Res.** 19: 875-884.

Funchel, T. and T.H. Blackbun. 1979. **Bacteria and Mineral Cycling.** Academic press, London.

Gregg, D. C. 1966. **College Chemistry.** Allon and Bacon Inc., Boston, America.

Guy, D. 1992. **The Ecology of the Fish Pond System.** Institute of Animal Ecology, University of Ghent, Belgium.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Hajek, B. B. and C. E. Boyd. 1994. Rating soil and water information for aquaculture. **Aquac. Eng.** 13: 115-128.

Hammer, D.A. and R.K. Bastian. 1989. Wetland ecosystem : Natural water purifier, pp. 5-19. In D.A. Hammer (ed.). **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment.** Lewis Publishers, Inc., Michigan.

Hammer, J.M. 1986. **Water and Wastewater Technology.** Regent/Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

_____, J.M. 2004. **Water and Wastewater Technology.** Regent/Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Hartman, W. J. and D. A. Long. 1976. Municipal wastewater "odor still a problem" part 2. **Water & Sewage Works** 123 (1): 38-41.

Heukelekian, H. 1948. Some bacteriological aspects of hydrogen sulfide production from sewage. **Sew. Works. J.** 20 (3): 490-498.

Jørgensen, B. B. 1977. The sulfur cycle of a coastal marine sediment (Limfjorden, Denmark). **Limnol. Oceanogr.** 22: 814-832.

Matida, Y. 1966. The role of soil in fish pond productivity in Asia and the Far East, pp. 1-10**. In Proceedings of the World Symposium on Warm Water Pond Fish Culture.** FAO, United Nation Fish, Rep., Rome.

Metcelf, R.L. and I.C. Eddy. 1991. **Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse.** 3d ed., McGraw-Hill, Inc., New York.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Munsiri, P., C. E. Boyd, and B. J. Hajek, 1955. Physical and chemical characteristics of bottom soil profiles in ponds at Auburn, Alabama, USA, and a proposed method for describing pond soil horizons. **J. World Aquac. Soc.** 26: 346-377.

Novazhilova, M. I. and E. S. Berezina. 1966. Character of the distribution of sulfate reducing and sulfur bacteria in the sediments of lake Balkhash. **Microbiol.** 34 : 436-440.

Nurnerg, G. 1984. Iron and hydrogen sulfide interferrance in the analysis of soluble reaction phosphorus in anoxic water. **Water Res.** 18: 367-377.

Pradit, S., Wattayakorn., G., Angsupanich, S., Baeyens, W. and Leermakers, M. 2010. Distribution of Trace Elements in Sediments and Biota of Songkhla Lake, Southern Thailand. **Water, Air, and Soil Pollution,** 206(1-4): 155-174.

Ray, W. M. and Y. H. Chien. 1992. Effect of stocking density and aged sediment on tiger prawn, *Penaeus monodon*, nursery system. **Aquaculture** 104: 231-248.

Reid, G.K. 1961. **Ecology of Inland Waters and Estuaries.** D. Van Nostrand Co. New York.

Santry, I. W. 1966. Hydrogen sulfide odor control measures. **Wat. Pollut. Cotrol Fed.** 38(3): 459-463.

Sawyer, C.N., Mc Carty, P.L. and Parkin, G.F. 2003. **Chemistry for environmental Engineering.** 5th edition. New York: Mc Graw-Hill, Inc.

Serokin, Y. I. 1968. Processes of chemical and biological oxidation of hydrogen sulfide in the water column of meromictic lakes. **Microbiol.** 34: 428-435.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Thoucha Rummasak. 2003. **Biogeochemical cycle of sulfur in mangrove sediments and its potential change due to sea level rise resulting from climate change scenarios.** M.E. Thesis. King Mongkut's University of Technology Thonburi.

Tsutsumi, H. and Kikuchi, T. 1983. Benthic ecological of a small cove with seasonal oxygen depletion caused by organic pollution. Publ. **Amakusa Mar Biol Lab;** 7: 17-40.

Wetzel, R.G. 1975. **Limnology.** W.B. Saunders company, London.

Widdel F. 1988. Microbiology and Ecology of Sulfate- and Sulfur-Reducing Bacteria. In Widdel F. (ed.), **Biology of Anaerobic Microorganisms**.

Windholz, M. 1976. **An Encyclopedia of Chemical and Drugs.** Merck & Go. Inc., Rahway, New York.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณซัลไฟด์ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2556 (ฤดูฝน)

บ่อ	ปริมาณซัลไฟด์ (mg/l)			ค่าเฉลี่ย
	ระดับน้ำ			
	ผิวน้ำ	กลางน้ำ	พื้นท้องน้ำ	
บ่อตกตะกอน	0.087	0.087	0.087	0.087
บ่อผึ่งที่ 1	0.087	0.087	0.089	0.088
บ่อผึ่งที่ 2	0.079	0.086	0.086	0.084
บ่อผึ่งที่ 3	0.078	0.079	0.083	0.080
บ่อปรับสภาพ	0.075	0.079	0.083	0.079

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณซัลไฟด์ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนกันยายน พ.ศ. 2556 (ฤดูฝน)

บ่อ	ปริมาณซัลไฟด์ (mg/l)			ค่าเฉลี่ย
	ระดับน้ำ			
	ผิวน้ำ	กลางน้ำ	พื้นท้องน้ำ	
บ่อตกตะกอน	0.053	0.055	0.060	0.056
บ่อผึ่งที่ 1	0.057	0.061	0.062	0.060
บ่อผึ่งที่ 2	0.062	0.061	0.063	0.062
บ่อผึ่งที่ 3	0.062	0.059	0.060	0.060
บ่อปรับสภาพ	0.052	0.052	0.052	0.052

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณซัลไฟด์ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556 (ฤดูฝน)

บ่อ	ปริมาณซัลไฟด์ (mg/l)			ค่าเฉลี่ย
	ระดับน้ำ			
	ผิวน้ำ	กลางน้ำ	พื้นท้องน้ำ	
บ่อตกตะกอน	0.054	0.057	0.060	0.057
บ่อผึ่งที่ 1	0.059	0.061	0.062	0.061
บ่อผึ่งที่ 2	0.062	0.060	0.063	0.062
บ่อผึ่งที่ 3	0.062	0.060	0.060	0.061
บ่อปรับสภาพ	0.052	0.051	0.055	0.053

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณซัลไฟด์ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนมกราคม พ.ศ. 2557 (ฤดูแล้ง)

บ่อ	ปริมาณซัลไฟด์ (mg/l)			ค่าเฉลี่ย
	ระดับน้ำ			
	ผิวน้ำ	กลางน้ำ	พื้นท้องน้ำ	
บ่อตกตะกอน	0.048	0.048	0.051	0.049
บ่อผึงที่ 1	0.051	0.054	0.055	0.053
บ่อผึ่งที่ 2	0.060	0.058	0.058	0.059
บ่อผึ่งที่ 3	0.058	0.060	0.061	0.060
บ่อปรับสภาพ	0.044	0.041	0.050	0.045

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 ปริมาณซัลไฟด์ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 (ฤดูแล้ง)

บ่อ	ปริมาณซัลไฟด์ (mg/l)			ค่าเฉลี่ย
	ระดับน้ำ			
	ผิวน้ำ	กลางน้ำ	พื้นท้องน้ำ	
บ่อตกตะกอน	0.047	0.049	0.051	0.049
บ่อผึ่งที่ 1	0.052	0.052	0.052	0.052
บ่อผึ่งที่ 2	0.054	0.055	0.056	0.055
บ่อผึ่งที่ 3	0.056	0.057	0.058	0.057
บ่อปรับสภาพ	0.044	0.041	0.048	0.044

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณซัลไฟด์ทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนมีนาคม พ.ศ. 2557 (ฤดูแล้ง)

บ่อ	ปริมาณซัลไฟด์ (mg/l)			ค่าเฉลี่ย
	ระดับน้ำ			
	ผิวน้ำ	กลางน้ำ	พื้นท้องน้ำ	
บ่อตกตะกอน	0.058	0.064	0.064	0.062
บ่อผึ่งที่ 1	0.065	0.067	0.068	0.067
บ่อผึ่งที่ 2	0.070	0.070	0.071	0.070
บ่อผึ่งที่ 3	0.072	0.073	0.073	0.073
บ่อปรับสภาพ	0.058	0.056	0.055	0.056

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณซัลเฟตและซัลไฟด์จากตะกอนดิน เดือนสิงหาคม และเดือนกันยายน พ.ศ. 2556 (ฤดูฝน)

บ่อ	สิงหาคม 2556		กันยายน 2556	
	ปริมาณซัลเฟต (mg/l)	ปริมาณซัลไฟด์ (mg/l)	ปริมาณซัลเฟต (mg/l)	ปริมาณซัลไฟด์ (mg/l)
บ่อตกตะกอน	17.413	0.669	15.257	0.642
บ่อผึ่งที่ 1	12.604	0.694	11.940	0.605
บ่อผึ่งที่ 2	12.272	0.617	10.945	0.619
บ่อผึ่งที่ 3	11.111	0.636	8.458	0.575
บ่อปรับสภาพ	20.564	0.667	21.393	0.642

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณซัลเฟตและซัลไฟด์จากตะกอนดิน เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556 (ฤดูฝน) และเดือนมกราคม พ.ศ. 2557 (ฤดูแล้ง)

บ่อ	พฤศจิกายน 2556		มกราคม 2557	
	ปริมาณซัลเฟต (mg/l)	ปริมาณซัลไฟด์ (mg/l)	ปริมาณซัลเฟต (mg/l)	ปริมาณซัลไฟด์ (mg/l)
บ่อตกตะกอน	18.905	0.509	14.428	0.458
บ่อผึ่งที่ 1	14.594	0.514	13.101	0.509
บ่อผึ่งที่ 2	11.609	0.544	10.116	0.508
บ่อผึ่งที่ 3	7.794	0.551	6.633	0.508
บ่อปรับสภาพ	25.539	0.528	28.856	0.551

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 9 ปริมาณซัลเฟตและซัลไฟด์จากตะกอนดิน เดือนกุมภาพันธ์ และเดือนมีนาคม พ.ศ. 2557 (ฤดูแล้ง)

บ่อ	กุมภาพันธ์ 2557		มีนาคม 2557	
	ปริมาณซัลเฟต (mg/l)	ปริมาณซัลไฟด์ (mg/l)	ปริมาณซัลเฟต (mg/l)	ปริมาณซัลไฟด์ (mg/l)
บ่อตกตะกอน	18.905	0.495	19.569	0.679
บ่อผึ่งที่ 1	14.594	0.528	15.920	0.710
บ่อผึ่งที่ 2	9.121	0.524	8.955	0.690
บ่อผึ่งที่ 3	5.804	0.531	6.799	0.670
บ่อปรับสภาพ	29.353	0.561	26.534	0.697

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 10 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2556 (ฤดูฝน)

บ่อบำบัดน้ำเสีย	ระดับเก็บตัวอย่าง	EC (µs/cm)	pH	PK′	pH-PK′	J ของ H_2S (%)	J ของ HS^- (%)	H_2S (mg/l)	HS^- (mg/l)
บ่อตกตะกอน	1S	748	7.393	6.909	0.48	24	76	0.021	0.066
	1M	749	7.407	6.909	0.50	25	75	0.022	0.065
	1B	746	7.404	6.909	0.49	24	76	0.021	0.066
บ่อผึ่งที่ 1	2S	720	8.073	6.910	1.16	7	93	0.006	0.081
	2M	720	8.053	6.910	1.14	7	93	0.006	0.081
	2B	718	8.056	6.910	1.15	6	94	0.005	0.084
บ่อผึ่งที่ 2	3S	776	8.444	6.908	1.54	2.5	98	0.002	0.077
	3M	778	8.429	6.908	1.52	2.5	98	0.002	0.084
	3B	780	8.415	6.908	1.51	2.5	98	0.002	0.084
บ่อผึ่งที่ 3	4S	854	8.825	6.907	1.92	1	99	0.001	0.077
	4M	855	8.836	6.907	1.93	1	99	0.001	0.078
	4B	856	8.833	6.907	1.93	1	99	0.001	0.082
บ่อปรับสภาพ	5S	1079	9.028	6.902	2.13	0	100	0.000	0.075
	5M	1085	9.059	6.902	2.16	0	100	0.000	0.079
	5B	1084	9.084	6.902	2.18	0	100	0.000	0.083

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 11 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนกันยายน พ.ศ. 2556 (ฤดูฝน)

บ่อบำบัดน้ำเสีย	ระดับเก็บตัวอย่าง	EC (µs/cm)	pH	PK′	pH-PK′	J ของ H_2S (%)	J ของ HS^- (%)	H_2S (mg/l)	HS^- (mg/l)
	1S	912	7.965	6.91	1.06	8	93	0.004	0.049
บ่อตกตะกอน	1M	916	7.799	6.91	0.89	12	88	0.007	0.048
	1B	921	7.822	6.91	0.92	11	89	0.007	0.054
	2S	776	9.058	6.91	2.15	1	99	0.001	0.057
บ่อผึ่งที่ 1	2M	791	8.842	6.91	1.93	1	99	0.001	0.060
	2B	810	8.488	6.91	1.58	2.5	98	0.002	0.061
	3S	776	9.169	6.91	2.26	1	99	0.001	0.061
บ่อผึ่งที่ 2	3M	779	9.076	6.91	2.17	1	99	0.001	0.061
	3B	788	8.902	6.91	1.99	1	99	0.001	0.062
	4S	782	9.461	6.91	2.55	0	100	0.000	0.062
บ่อผึ่งที่ 3	4M	784	9.414	6.91	2.51	0	100	0.000	0.059
	4B	788	9.269	6.91	2.36	0	100	0.000	0.060
	5S	911	9.449	6.91	2.54	0	100	0.000	0.052
บ่อปรับสภาพ	5M	910	9.434	6.91	2.53	0	100	0.000	0.052
	5B	914	9.360	6.91	2.45	0	100	0.000	0.052

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 12 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556 (ฤดูฝน)

บ่อบำบัดน้ำเสีย	ระดับเก็บตัวอย่าง	EC (µs/cm)	pH	PK′	pH-PK′	J ของ H_2S (%)	J ของ HS^- (%)	H_2S (mg/l)	HS^- (mg/l)
	1S	869	7.842	6.91	0.94	9	91	0.005	0.049
บ่อตกตะกอน	1M	855	7.822	6.91	0.92	9	91	0.005	0.052
	1B	850	7.774	6.91	0.87	11	89	0.007	0.054
	2S	822	8.477	6.91	1.57	2.5	98	0.001	0.058
บ่อผึ่งที่ 1	2M	821	8.444	6.91	1.54	2.5	98	0.002	0.060
	2B	823	8.394	6.91	1.49	2.5	98	0.002	0.061
	3S	903	9.177	6.91	2.27	0	100	0.000	0.062
บ่อผึ่งที่ 2	3M	902	9.213	6.91	2.31	0	100	0.000	0.060
	3B	904	9.186	6.91	2.28	0	100	0.000	0.063
	4S	903	9.241	6.91	2.34	0	100	0.000	0.062
บ่อผึ่งที่ 3	4M	902	9.241	6.91	2.34	0	100	0.000	0.060
	4B	904	9.170	6.91	2.26	0	100	0.000	0.060
	5S	962	9.489	6.90	2.58	0	100	0.000	0.052
บ่อปรับสภาพ	5M	962	9.496	6.90	2.59	0	100	0.000	0.051
	5B	963	9.464	6.90	2.56	0	100	0.000	0.055

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 13 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนมกราคม พ.ศ. 2557 (ฤดูแล้ง)

บ่อบำบัดน้ำเสีย	ระดับเก็บตัวอย่าง	EC (µs/cm)	pH	PK′	pH-PK′	J ของ H_2S (%)	J ของ HS^- (%)	H_2S (mg/l)	HS^- (mg/l)
บ่อตกตะกอน	1S	730	7.407	6.91	0.50	24	76	0.011	0.036
	1M	719	7.298	6.91	0.39	29	71	0.014	0.034
	1B	728	7.343	6.91	0.43	27	73	0.014	0.037
บ่อผึ่งที่ 1	2S	736	8.254	6.91	1.34	5	95	0.003	0.049
	2M	737	8.129	6.91	1.22	6	94	0.003	0.051
	2B	735	8.117	6.91	1.21	6	94	0.003	0.052
บ่อผึ่งที่ 2	3S	805	8.852	6.91	1.94	2	98	0.001	0.058
	3M	811	8.844	6.91	1.94	2	98	0.001	0.057
	3B	825	8.666	6.91	1.76	3	97	0.002	0.056
บ่อผึ่งที่ 3	4S	902	9.486	6.91	2.58	0	100	0.000	0.058
	4M	898	9.473	6.91	2.57	0	100	0.000	0.060
	4B	908	9.397	6.91	2.49	0	100	0.000	0.061
บ่อปรับสภาพ	5S	965	9.319	6.90	2.41	0	100	0.000	0.044
	5M	965	9.279	6.90	2.37	0	100	0.000	0.041
	5B	962	9.228	6.90	2.32	0	100	0.000	0.050

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 14 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 (ฤดูแล้ง)

บ่อบำบัดน้ำเสีย	ระดับเก็บตัวอย่าง	EC (µs/cm)	pH	PK′	pH-PK′	J ของ H_2S (%)	J ของ HS^- (%)	H_2S (mg/l)	HS^- (mg/l)
บ่อตกตะกอน	1S	646	7.821	6.91	0.91	11	89	0.005	0.042
	1M	648	7.594	6.91	0.68	16	84	0.008	0.041
	1B	648	7.639	6.91	0.73	16	84	0.008	0.043
บ่อผึ่งที่ 1	2S	717	8.300	6.91	1.39	9	91	0.005	0.047
	2M	719	8.244	6.91	1.33	9	91	0.005	0.048
	2B	736	7.998	6.91	1.09	9	91	0.005	0.047
บ่อผึ่งที่ 2	3S	798	8.430	6.91	1.52	2.5	98	0.001	0.053
	3M	800	8.418	6.91	1.51	2.5	98	0.001	0.054
	3B	804	8.320	6.91	1.41	4	96	0.002	0.053
บ่อผึ่งที่ 3	4S	876	9.168	6.91	2.26	0	100	0.000	0.056
	4M	876	9.133	6.91	2.23	0	100	0.000	0.057
	4B	881	9.059	6.91	2.15	0	100	0.000	0.058
บ่อปรับสภาพ	5S	1001	9.201	6.90	2.30	0	100	0.000	0.044
	5M	1001	9.194	6.90	2.29	0	100	0.000	0.041
	5B	1002	9.133	6.90	2.23	0	100	0.000	0.048

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 15 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนทั้ง 3 ระดับน้ำ เดือนมีนาคม พ.ศ. 2557 (ฤดูแล้ง)

บ่อบำบัดน้ำเสีย	ระดับเก็บตัวอย่าง	EC (µs/cm)	pH	PK′	pH-PK′	J ของ H_2S (%)	J ของ HS^- (%)	H_2S (mg/l)	HS^- (mg/l)
บ่อตกตะกอน	1S	657	7.590	6.91	0.68	16	84	0.009	0.049
	1M	589	7.500	6.91	0.59	21	79	0.013	0.050
	1B	687	7.500	6.91	0.59	21	79	0.013	0.051
บ่อผึ่งที่ 1	2S	651	8.170	6.91	1.26	5	95	0.003	0.061
	2M	658	7.990	6.91	1.08	8	92	0.005	0.062
	2B	666	7.940	6.91	1.03	8	92	0.005	0.063
บ่อผึ่งที่ 2	3S	685	8.900	6.91	1.99	1	99	0.001	0.069
	3M	684	8.660	6.91	1.75	2	98	0.001	0.069
	3B	687	8.620	6.91	1.71	2	98	0.001	0.069
บ่อผึ่งที่ 3	4S	734	9.560	6.91	2.65	0	100	0.000	0.072
	4M	732	9.470	6.91	2.56	0	100	0.000	0.073
	4B	735	9.270	6.91	2.36	0	100	0.000	0.073
บ่อปรับสภาพ	5S	850	9.390	6.91	2.48	0	100	0.000	0.058
	5M	853	9.340	6.91	2.43	0	100	0.000	0.056
	5B	854	9.320	6.91	2.41	0	100	0.000	0.055

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นายนิธิพงศ์ ใจตาบ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	21 เมษายน พ.ศ. 2532
สถานที่เกิด	จังหวัดสมุทรสาคร
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยศิลปากร
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์