



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลตำบลห้วยยอด
อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง

The Efficiency of Rock Check Dam in Municipal Domestic Wastewater Treatment at
Huai Yot Sub-district, Huai Yot District, Trang Province

นามผู้วิจัย นางสาวบุญจงรักษ์ จิวตัน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์บังกษรัตน์ ปิตยรัตน์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ศาสตราจารย์วิทย์ ธารชลาณกิจ, กม.บ.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ไมตรี ดวงสวัสดิ์, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(รองศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลตำบลห้วยยอด
อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง

The Efficiency of Rock Check Dam in Municipal Domestic Wastewater Treatment
at Huai Yot Sub-district, Huai Yot District, Trang Province

โดย

นางสาวบุญจรรักษ์ จิวตัน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรบัณฑิต)

พ.ศ. 2552

บุญจรงค์ จิวตัน 2552: ประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดน้ำเสียชุมชนของ
เทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
(วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์บังกษรัตน์ ปิทยานต์, Ph.D.
143 หน้า

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด
จังหวัดตรัง เป็นการทดลองเบื้องต้นในการใช้ฝายหินเรียงบำบัดน้ำเสียโดยธรรมชาติ ฝายหินเรียง
ที่ใช้มีความลาดชันท้ายฝายแตกต่างกัน 3 รูปแบบ คือ 1:2 1:4 และ 1:6 (แนวตั้ง: แนวราบ) เพื่อเลือก
รูปแบบที่เหมาะสมในการนำมาศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแบบใช้ 3 ฝายต่อเนื่องตามลำน้ำ
จากผลการทดลองฝายหินเรียงที่มีความลาดชันท้ายฝาย 1:2 มีความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งสามารถ
บำบัดชีโอดีและบีโอดีสูงสุดในวันที่ 2 และ 3 ของการทดลองคิดเป็นร้อยละ 31.67 ± 7.64 และ
 43.07 ± 6.82 ตามลำดับ เมื่อนำฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 มาประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียที่มีแหล่งกำเนิด
แตกต่างกันในรูปแบบ 3 ฝายต่อเนื่องที่ระยะห่างระหว่างฝาย 5 เมตร จำนวน 3 ชุดทดลอง เป็น
ระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 ชุดทดลองมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีไม่แตกต่างกัน
ทางสถิติ แต่มีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีระหว่างสัปดาห์ของการทดลอง
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของทุกชุด
ทดลองสูงสุดในสัปดาห์ที่ 2 สามารถบำบัดบีโอดีได้ร้อยละ 92.0 41.2 และ 65.5 ตามลำดับ และมี
ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีเฉลี่ยของแต่ละฝายในแต่ละชุดทดลองคิดเป็นร้อยละ 36.8 38.7 และ
28.8 ตามลำดับ จากการทดลองฝายหินเรียงสามารถใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนที่ไหลผ่านลำห้วยหรือคู
ขนาดเล็กได้ แต่ต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดฝายหินเรียง เช่น
การอุดตันของตะกอน ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และเวลาการเก็บกัก เป็นต้น

Boonjongrak Jewtan 2009: The Efficiency of Rock Check Dam in Municipal Domestic Wastewater Treatment at Huai Yot Sub-district, Huai Yot District, Trang Province. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Associate Professor Bongotrat Pitiyont, Ph.D. 143 pages.

The domestic wastewater treatment efficiency using rock check dams was performed at Huai Yot Sub-district, Huai Yot district, Trang Province. The preliminary experiments on natural wastewater treatment using three rock check dams with different slopes 1:2, 1:4 and 1:6 (vertical: horizontal) were evaluated and compared to identify the most suitable slope. The results showed that the rock check dam with 1:2 slope gave the maximum percentage removal of 31.7 ± 7.6 and 43.1 ± 6.8 for BOD and COD on 2nd day and 3rd day, respectively. Consequently three dams at the 1:2 slope were connected in series with an interval of 5 meters in order to achieve higher effectiveness. Three units were constructed to treat domestic wastewater of three different sources for 8 weeks. The results showed no statistical significant difference in BOD removal in all treatments ($p < 0.05$) with the maximum reduction at 2nd week. The efficiency of BOD removal was 92.0 41.2 and 65.5 respectively. Average efficiency of BOD removal in each dam was 36.8 38.7 and 28.8, respectively. From the study, the rock check dam was able to treat domestic wastewater via the small river but it should consider with other factors which effect the efficiency of rock check dams such as the obstruction from suspended solid, organic loading and hydraulic retention time etc.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยคำแนะนำ คำปรึกษาที่มีคุณประโยชน์ ตลอดจนการตรวจแก้ไขอย่างใกล้ชิดจากรองศาสตราจารย์ ดร.บงกชรัตน์ ปิณฑินต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ศ.วิทย์ ธารชลาณกิจ และ ดร.ไมตรี ดวงสวัสดิ์ รองประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษาแนะนำช่วยเหลือตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณมูลนิธิชัยพัฒนา สำนักงานคณะกรรมการสภาวิจัยแห่งชาติ และศาสตราจารย์ ดร.เกษม จันทรแก้ว ผู้อำนวยการโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่ได้ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้ ด้วยมุ่งหวังที่จะให้เกิดประโยชน์ต่อการจัดการน้ำเสียในประเทศไทย ตามแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว

ขอขอบพระคุณคณบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ผศ.ดร.สุวิทย์ จิตรภักดี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ อาจารย์หัวหน้าภาคอรรถวิทยา อาจารย์ประจำห้องปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ขอขอบพระคุณนายกเทศมนตรีเทศบาลตำบลห้วยยอด คุณสมศักดิ์ ศิริมาตยนันท์ รองนายกเทศมนตรี คุณศักดิ์ชัย เสียงหลาย และหัวหน้ากองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม คุณสุจินต์ อาสสมโภช ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่และวัสดุในการวิจัยบางส่วน รวมทั้งคำปรึกษาและร่วมช่วยแก้ไขปัญหามาโดยตลอด และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และคนงานทุกๆ คน ที่มีส่วนร่วมในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ของผู้วิจัยทุกท่านตั้งแต่สมัยศึกษาเรียนในระดับมัธยมศึกษา ระดับปริญญาตรี และในระดับปริญญาโทรุ่น 29 ที่รักยิ่งทุกท่าน รวมทั้งน้องสาวและน้องชายผู้คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือตลอดมา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาซึ่งเป็นต้นแบบในการใช้ชีวิตและสนับสนุนทางการศึกษาแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกๆ ท่านที่อบรมสั่งสอนผู้วิจัยมาตั้งแต่เล็กจนทุกวันนี้ กราบขอบพระคุณครอบครัวซึ่งประกอบด้วยคุณปู่ คุณย่า คุณตา คุณยาย คุณาตี พี่น้องผู้ใกล้ชิดที่คอยให้กำลังใจผู้วิจัยอยู่เสมอ ผู้เฝ้ารอคอยความสำเร็จครั้งนี้ด้วยความรักและความอดทน

บุญจรงค์ จิวตัน

เมษายน 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	42
อุปกรณ์	42
วิธีการ	44
ผลและวิจารณ์	54
สรุปและข้อเสนอแนะ	100
สรุป	100
ข้อเสนอแนะ	101
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	102
ภาคผนวก	109
ภาคผนวก ก มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินและมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร	110
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการศึกษารูปแบบฝายหินเรียงที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชน	121
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยฝายหินเรียงรูปแบบที่เหมาะสมแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง	127
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยฝายหินเรียงรูปแบบที่เหมาะสมแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง	140
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	143

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ระยะห่างของฝายต่ออัตราส่วนความสูงของฝายกับความลาดชัน	13
2 ขนาดหินที่เหมาะสมในการสร้างฝายตามความเร็วน้ำ	14
3 ระดับออกซิเจนละลายน้ำของปฏิกิริยาชีวภาพ	29
4 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตเทศบาลตำบลห้วยยอด	34
5 ดัชนีคุณภาพน้ำที่วิเคราะห์	52
6 ปัจจัยทางศาสตร์ของฝายหินเรียงที่ความลาดชันท้ายฝาย 3 รูปแบบ	58
7 ค่าซีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียง 3 รูปแบบ	61
8 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ	63
9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของซีโอดีก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียง 3 รูปแบบ ในทุกจุดทดลอง	65
10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ	66
11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของฝายหินเรียงแต่ละรูปแบบในแต่ละจุดทดลอง	67
12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของฝายหินเรียงแต่ละรูปแบบ ที่ระยะเวลาต่างกัน	68
13 ค่าบีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียง 3 รูปแบบ	69
14 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียง 3 ของทุกจุดทดลอง	72
15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของบีโอดีก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียง 3 รูปแบบ ในทุกจุดทดลอง	74
16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียงแต่ละรูปแบบ ในแต่ละจุดทดลอง	75
18	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียงแต่ละรูปแบบ ที่ระยะเวลาต่างกัน	75
19	ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี (ร้อยละ) ด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่องในแต่ละชุดทดลอง	91
20	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าบีโอดีในน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง โดยการเปรียบเทียบแต่ละฝาย ในแต่ละชุดทดลอง	95
21	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง โดยการเปรียบเทียบระหว่างฝาย และระหว่างสัปดาห์	96
22	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง โดยการเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลอง	96
23	ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง โดยการเปรียบเทียบระหว่างสัปดาห์ของการทดลอง	97
24	ความสัมพันธ์ของค่าบีโอดีก่อนการบำบัดกับประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง	98
25	ความสัมพันธ์ของระยะเวลาที่ทำการทดลองกับประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง	99
ตารางผนวกที่		
ก1	มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน	111
ก2	มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร	114
ข1	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีระหว่างฝายหินเรียง 3 รูปแบบ คือ 1:2 1:4 และ 1:6	122

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข2 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียง รูปแบบ 1:2 ระหว่างจุดทดลอง	122
ข3 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียง รูปแบบ 1:4 ระหว่างจุดทดลอง	122
ข4 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียง รูปแบบ 1:6 ระหว่างจุดทดลอง	123
ข5 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียง รูปแบบ 1:2 ระหว่างระยะเวลาทดลอง	123
ข6 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียง รูปแบบ 1:4 ระหว่างระยะเวลาทดลอง	123
ข7 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียง รูปแบบ 1:6 ระหว่างระยะเวลาทดลอง	124
ข8 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ	124
ข9 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียง รูปแบบ 1:2 ระหว่างจุดทดลอง	124
ข10 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียง รูปแบบ 1:4 ระหว่างจุดทดลอง	125
ข11 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียง รูปแบบ 1:6 ระหว่างจุดทดลอง	125
ข12 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียง รูปแบบ 1:2 ระหว่างระยะเวลาทดลอง	125
ข13 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียง รูปแบบ 1:4 ระหว่างระยะเวลาทดลอง	126
ข14 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียง รูปแบบ 1:6 ระหว่างระยะเวลาทดลอง	126

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ค1 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์	128
ค2 พีเอชของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์	130
ค3 สภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) ของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์	132
ค4 ออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์	134
ค5 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์	136
ค6 บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์	138
ง1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง ในชุดทดลองที่ 1 ระหว่างฝายที่ 1 ฝายที่ 2 และฝายที่ 3	141
ง2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง ในชุดทดลองที่ 2 ระหว่างฝายที่ 1 ฝายที่ 2 และฝายที่ 3	141
ง3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง ในชุดทดลองที่ 3 ระหว่างฝายที่ 1 ฝายที่ 2 และฝายที่ 3	141
ง4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง ในชุดทดลองที่ 1 ระหว่างครั้งทดลอง (สัปดาห์)	142
ง5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง ในชุดทดลองที่ 2 ระหว่างครั้งทดลอง (สัปดาห์)	142
ง6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง ในชุดทดลองที่ 3 ระหว่างครั้งทดลอง (สัปดาห์)	142

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรอบแนวคิดงานวิจัย	4
2	ลักษณะของฝายหินเรียง	11
3	ลักษณะการก่อสร้างฝายหินเรียง	12
4	กลไกการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาตัวกลางหรือสารกรอง	16
5	การเกาะติดของจุลินทรีย์กับตัวกลาง	20
6	การเจริญของไบโอฟิล์มบนผิวตัวกลาง	21
7	การกำจัดสารอินทรีย์ในชั้นฟิล์มชีวภาพ	23
8	กลุ่มชุดดินที่พบบริเวณพื้นที่ตำบลห้วยยอด	34
9	พื้นที่แหล่งทรัพยากรแร่และศักยภาพของแร่ระวาง NB47-3 จังหวัดสงขลา บริเวณอำเภอห้วยยอด	39
10	ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำเสียบริเวณพื้นที่ศึกษาห้วยปลัดแก้ว อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง (เส้นสีส้ม)	47
11	ฝายหินเรียงที่มีความลาดชันท้ายฝาย 1:2 1:4 และ 1:6 (ก) มองจากด้านข้าง (lateral view) (ข) มองจากด้านบน (top view)	48
12	การปักหมุดไม้ ดิ่งเชือก เพื่อใช้เป็นแบบในการสร้างฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบ	49
13	ภาพด้านข้างของการติดตั้งฝายหินเรียงในการบำบัดน้ำเสียชุมชนในห้วยปลัดแก้ว	50
14	ลักษณะฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง	52
15	จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละชุดทดลอง	53
16	บีโอดีของน้ำเสียในห้วยปลัดแก้วจำนวน 7 จุดทดลองในฤดูแล้งและฤดูฝน	56
17	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ ของทั้ง 3 จุดทดลอง	65
18	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบ ในทุกจุด ทดลอง	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	อุณหภูมิของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง	79
20	พีเอชของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง	81
21	สภาพนำไฟฟ้าของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง	83
22	ออกซิเจนละลายน้ำของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง	85
23	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง	87
24	บีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง	89
25	ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง ของแต่ละฝาย	93
26	ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง ของแต่ละชุดทดลอง	95
ภาพผนวกที่		
ก1	ลักษณะของหินปูนที่ใช้ในการทดลอง	118
ก2	ลักษณะฝายหินเรียงที่ใช้ในการทดลองบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง	118
ก3	ชุดทดลองของการบำบัดน้ำเสียแบบ 3 ฝายต่อเนื่องของเทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง	119
ก4	ลักษณะของไบโอฟิล์มที่เจริญบนผิวก้อนหินที่จัดเรียงไว้	119
ก5	ลักษณะการหลุดลอกของไบโอฟิล์ม	120
ก6	ลักษณะของไบโอฟิล์มบนผิวก้อนหินภายหลังจาก	120

ประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง

The Efficiency of Rock Check Dam in Municipal Domestic Wastewater Treatment at Huai Yot Sub-district, Huai Yot District, Trang Province

คำนำ

การพัฒนาประเทศที่เป็นอยู่ในปัจจุบันมักจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการขยายตัวของชุมชน โดยเฉพาะชุมชนเมืองใหญ่ๆ ที่มีประชากรย้ายเข้ามาเพิ่มขึ้นทุกปี ทำให้เกิดปัญหามลภาวะต่างๆ เพิ่มขึ้น รวมถึงปัญหาน้ำเสียชุมชน ซึ่งมีสาเหตุสำคัญจากกิจกรรมของชุมชนเป็นหลัก ได้แก่ กิจกรรมจากบ้านเรือน จากการประกอบอาชีพต่างๆ เช่น โรงแรม ตลาดสด โรงเรียน โรงพิมพ์ อู่ล้างรถ อู่ซ่อมรถ อาคารสำนักงาน ฯลฯ จนหลายๆ หน่วยงานทั้งภาครัฐและภาคเอกชนต้องเร่งหามาตรการเพื่อจัดการปัญหาน้ำเสียดังกล่าว เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียต้องใช้งบประมาณค่อนข้างสูง ต้องการผู้ชำนาญการในการดูแลรักษาระบบ และมีความยุ่งยากในการจัดการและดำเนินงาน ทำให้การบำบัดน้ำเสียไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้ ในส่วนของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ มุ่งเน้นให้ใช้เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบให้ธรรมชาติช่วยบำบัดธรรมชาติ โดยใช้วัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่น และราคาถูก สามารถนำมาดัดแปลงใช้ประโยชน์ได้กับทุกชุมชน

เทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง เป็นอีกชุมชนหนึ่งที่มีปัญหาการบำบัดน้ำเสีย เนื่องด้วยการขยายตัวของชุมชนที่เพิ่มมากขึ้นทุกปี ปัจจุบันน้ำเสียที่ถูกปล่อยทิ้งลงลำน้ำสาธารณะมีปริมาณถึง 2,227.5 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (โครงการศึกษาเพื่อจัดลำดับความสำคัญการจัดการน้ำเสียชุมชน, 2538) โดยที่ยังไม่มีการบำบัดก่อนปล่อยทิ้งลงสู่คลองห้วยยอดและไหลต่อไปจนถึงแม่น้ำตรัง ซึ่งหากปล่อยน้ำทิ้งอย่างนี้ไปเรื่อยๆ ก็จะเป็นการเพิ่มปัญหาให้ชุมชนที่ใช้น้ำจากแม่น้ำตรังในอนาคตได้ ในอดีตลำน้ำดังกล่าวสามารถฟอกตัวเองโดยธรรมชาติได้ แต่ด้วยปริมาณน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงและมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ลำน้ำดังกล่าวไม่สามารถบำบัดตัวเองตามธรรมชาติได้หมด เกิดการหมักหมม น้ำมีสีดำ และส่งกลิ่นรบกวนผู้ที่อยู่อาศัยใกล้เคียง ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำเสียมียูคัลประกอบของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นอาหารอย่างดี

ของจุลินทรีย์จึงเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอาหารตามธรรมชาติเกิดขึ้น ประกอบกับปริมาณออกซิเจนในน้ำมีไม่เพียงพอจึงทำให้จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนทำงาน ทำให้เกิดผลผลิตที่เป็นก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ส่งกลิ่นรบกวนผู้ที่อาศัยอยู่ใกล้กับคูน้ำทิ้ง

ดังนั้นหากสามารถสร้างระบบบำบัดน้ำเสียที่มีราคาถูก และสามารถบำบัดน้ำเสียในคูน้ำทิ้งได้ ก็จะช่วยลดปัญหาดังกล่าวให้ลงได้ งานวิจัยนี้เน้นแนวทางการบำบัดที่จะดัดแปลงเทคโนโลยีธรรมชาติ โดยนำหินปูนซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในเทศบาลตำบลห้วยยอดมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการสร้างฝาย (chack dams) ดัดแปลงเป็นระบบบำบัดน้ำเสียด้วยฝายหินเรียง (rock chack dam) ซึ่งออกแบบใหม่ตามลักษณะพื้นที่ที่มีขนาดของลำน้ำค่อนข้างเล็ก มีความลาดชันตามพื้นที่ และมีน้ำเสียไหลตลอดเวลา ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยฝายหินเรียงนำเอาเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียอย่างง่ายด้วย 3 กระบวนการหลัก คือ 1) การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพด้วยวิธีการกรองด้วยตะแกรงหยาบดักของแข็ง การตกตะกอน และการกรอง 2) การบำบัดน้ำเสียทางเคมีด้วยวิธีการเพิ่มออกซิเจนในน้ำจากการกระจายของน้ำเมื่อไหลมากระทบก้อนหินตามธรรมชาติ และ 3) การบำบัดทางชีวภาพด้วยกลไกของจุลินทรีย์ในธรรมชาติหรือไบโอฟิล์มที่เคลือบอยู่บนผิวของวัสดุ ทำให้เกิดกระบวนการทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ในการกิน ทำลาย ย่อยสลาย ดูดซับ หรือเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ต่างๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียให้มีความสกปรกน้อยลงก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

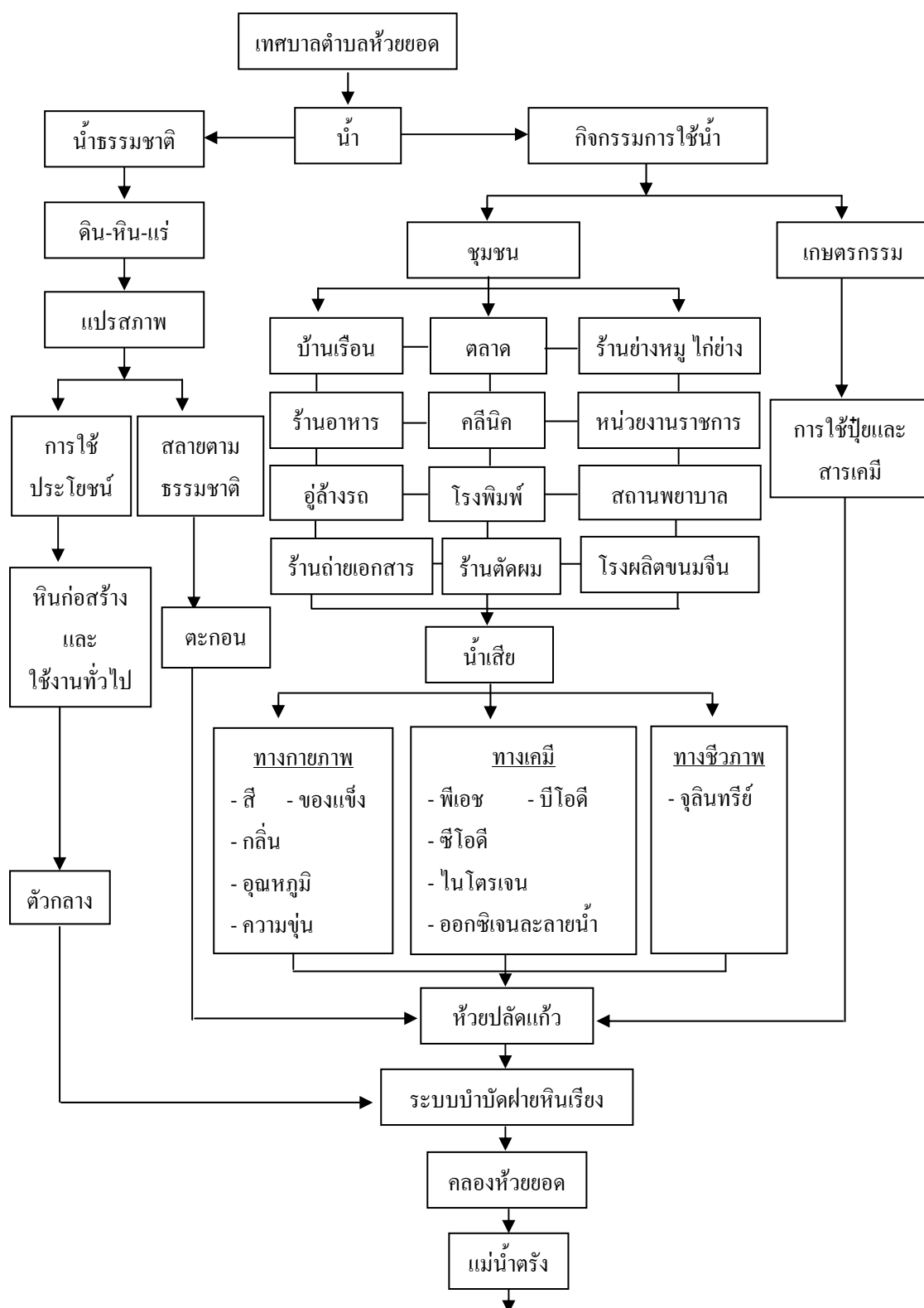
การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงต้องการวิเคราะห์รูปแบบของฝายหินเรียงที่มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียชุมชน รวมทั้งประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการก่อสร้างแบบต่อเนื่องตามลำน้ำ เพื่อให้ผลงานวิจัยที่ได้สามารถนำไปปรับปรุงและประยุกต์ใช้ในพื้นที่ต่างๆ ได้อย่างเหมาะสมต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษารูปแบบฝายหินเรียงที่เหมาะสมในการลดความสกปรกของน้ำเสียในรูปซีโอไซด์ และบีโอดีของน้ำเสียชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของฝายหินเรียงรูปแบบที่เหมาะสมแบบ 3 ฝายต่อเนื่องในการบำบัด บีโอดีของน้ำเสียชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง

กรอบแนวคิดงานวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง มีแนวคิดมาจากเทศบาลตำบลห้วยยอดมีสภาพพื้นที่ที่ค่อนข้างมีความลาดชัน ประกอบด้วยเนินเขาขนาดเล็กปะติดปะต่อกันเป็นแนว ซึ่งมีการนำหินชนิดหินปูนมาใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้าง และงานอื่นๆ ทั่วไป เมื่อฝนตกน้ำจะพัดพาตะกอนตามธรรมชาติให้ไหลเป็นแนวตามร่องน้ำลงสู่ด้านล่างตามความลาดชันจนเกิดเป็นลำห้วยธรรมชาติขึ้น เมื่อชุมชนเริ่มมีการขยายพื้นที่ออกไปมากขึ้น ทำให้ร่องน้ำหรือลำห้วยดังกล่าวถูกแปรเปลี่ยนเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียจากกิจกรรมในชุมชนและภาคการเกษตร ซึ่งล้วนแล้วแต่ทำให้น้ำเสียมีความสกปรกสูงขึ้น และห้วยปลัดแก้วเป็นลำห้วยที่อยู่บริเวณใจกลางเทศบาลตำบลห้วยยอด จึงเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียส่วนใหญ่ ก่อนไหลลงสู่คลองห้วยยอดและแม่น้ำตรัง จึงทำให้ลำห้วยแห่งนี้มีความเหมาะสมที่จะนำเอาเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยฝายหินเรียง โดยใช้หินปูนที่มีอยู่ในท้องถิ่นเป็นปัจจัยหลัก อาศัยกลไกทางธรรมชาติในการลดความสกปรกของน้ำเสียทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ เพื่อให้ น้ำเสียของเทศบาลตำบลห้วยยอดมีคุณภาพน้ำที่ดีขึ้น กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยฝายหินเรียง จะเน้นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ อาศัยกลไกการทำงานของจุลินทรีย์บนชั้นหินเรียง ซึ่งเรียกว่าฟิล์มชีวภาพหรือไบโอฟิล์ม ทำหน้าที่กำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียชุมชน เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ โดยกระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ในระหว่างทางการไหลของน้ำเสียตามลำห้วย ร่องน้ำ หรือคูน้ำทั้งก่อนที่จะไหลลงสู่คลองห้วยยอด และแม่น้ำตรังต่อไป ดังรายละเอียดในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

การตรวจเอกสาร

น้ำเสียชุมชน

1. นิยามและความหมาย

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 ได้ให้คำนิยามว่า น้ำเสีย หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมวลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีการปนเปื้อนของมลสาร สารเคมีที่เป็นพิษหรือมีส่วนหนึ่งขององค์ประกอบผิดไปจากธรรมชาติ จนมีผลกระทบต่อสุขภาพและอนามัยของมนุษย์ สัตว์และพืช (เกษม, 2541)

น้ำเสียชุมชน (domestic wastewater) คือ น้ำเสียที่เกิดจากการใช้น้ำในชีวิตประจำวันจากที่พักอาศัย ร้านค้า ตลาด โรงแรม อาคารชุด ตลอดจนสถานที่ราชการต่างๆ โดยน้ำเสียที่ระบายออกมามีเศษอาหาร สบู่ สารซักฟอก อุจจาระ และปัสสาวะปะปนอยู่ด้วย เนื่องจากชุมชนส่วนใหญ่ยังไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย หรือที่มีอยู่ยังไม่ได้มาตรฐาน เมื่อปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลองจึงเกิดการเน่าเสียส่งกลิ่นเหม็น ทำให้ออกซิเจนในแหล่งน้ำมีปริมาณน้อยลง สันทัด (2549) กล่าวว่า น้ำเสียชุมชน หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าน้ำโสโครก (sewage) ได้แก่ น้ำทิ้งที่มาจากชุมชน บ้านเรือน ที่พักอาศัย อาคาร ร้านค้า โรงแรม เป็นต้น โดยน้ำเสียดังกล่าวมักเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การอุปโภคบริโภค การชำระล้างร่างกาย การขับถ่าย การซักล้าง ตลอดจนการประกอบอาหาร ฯลฯ โดยจากกรมควบคุมมลพิษ (2537) กล่าวว่า น้ำเสียชุมชนสามารถแยกประเภทตามการใช้พื้นที่ได้ดังนี้คือ ประเภทอาคารชุด โรงแรม สถานพยาบาล หมู่บ้านจัดสรร สถานบันการศึกษา โรงเรียน มหาวิทยาลัย สำนักงาน สถานที่ราชการ ศูนย์การค้า ห้างสรรพสินค้า ตลาด ภัตตาคาร ร้านอาหาร หอพัก และอื่นๆ

2. ลักษณะของน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียเกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือน และอาคารประเภทต่าง ๆ ซึ่งน้ำเสียชุมชนที่ถูกปล่อยทิ้งจากบ้านเรือน อาคาร มีปริมาณน้ำเสียประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้ (โครงการศึกษาเพื่อจัดลำดับความสำคัญการจัดการน้ำเสียชุมชน, 2538) โดยแบ่งลักษณะของน้ำเสียชุมชนออกเป็น 3 ลักษณะได้ดังนี้

2.1 ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ

2.1.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมด ประกอบด้วยปริมาณของแข็งที่แขวนลอย (TSS) และปริมาณของแข็งละลาย (TDS) ค่าปริมาณของแข็งจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสกปรกและความหนาแน่นของน้ำเสียได้ และยังสามารถบอกถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ ที่เลือกใช้ได้

2.1.2 กลิ่น ส่วนมากจะมาจากก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เช่น ก๊าซไข่เน่าเกิดจากจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้อากาศ โดยทำการเปลี่ยนสภาพของซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ ซึ่งทำให้เกิดกลิ่น ถ้าต้องการกำจัดกลิ่นในน้ำเสียอาจใช้สารเคมีที่สามารถออกซิไดซ์สารที่ทำให้เกิดกลิ่นได้ เช่น คลอรีน หรือผงถ่านกัมมันต์ (activated carbon)

2.1.3 อุณหภูมิของน้ำ เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงมากขึ้นกว่าปกติ จะมีผลทำให้ปฏิกิริยาชีวเคมีของพวกจุลินทรีย์สูงขึ้นตามไปด้วย ออกซิเจนละลายน้ำจะถูกใช้เพิ่มมากขึ้น และทำให้การเจริญเติบโตของพืชที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำมีมากกว่าปกติ และทำให้ออกซิเจนละลายน้ำลดลง

2.1.4 สี สีที่ปนเปื้อนในน้ำเสียส่วนมากเกิดจากโรงงานหลายๆ ประเภท เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานสีย้อม และโรงงานอื่นๆ น้ำเสียประเภทที่มีสีเกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานที่ปล่อยทิ้งออกมาสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะเป็นตัวขวางกั้นแสงแดดไม่ให้ส่องลงได้น้ำ

2.1.5 ความขุ่น เกิดจากการมีสารแขวนลอยที่ลอยอยู่ในน้ำซึ่งจะกั้นหรือขวางแสงแดดไม่ให้ส่องลงได้น้ำได้มากกว่า 100% เช่นเดียวกันกับสี น้ำที่มีความขุ่นมากจะทำให้ยากต่อการกรอง

2.2 ลักษณะน้ำเสียทางเคมี จะประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ น้ำเสียที่มาจากบ้านเรือน จะประกอบด้วย 50% ของสารอินทรีย์และ 50% ของสารอนินทรีย์

2.2.1 สารอินทรีย์ ส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่สำคัญในน้ำเสียชุมชน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันและน้ำมัน และมีผงซักฟอก ฟีนอล และยาปราบศัตรูพืชปะปนมาเล็กน้อย โดยสารอินทรีย์ในน้ำเสียประมาณ 60 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ และสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนตัวอื่น ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพเนื่องจากข้อจำกัดด้านระยะเวลาและสภาพแวดล้อมภายในระบบบำบัดน้ำเสีย ในน้ำเสียผงซักฟอกและยาฆ่าแมลงอาจจะเป็นส่วนประกอบมากถึง 20-40 เปอร์เซ็นต์ของสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ (สุเทพ, 2550)

2.2.2 สารอนินทรีย์ ได้แก่ คลอไรด์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ โลหะหนัก ก๊าซ และสภาพความเป็นกรดและเบสของน้ำเสีย เป็นต้น

2.2.3 คลอไรด์ ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำเสีย ถ้ามีไม่มากจนเกินไป จะไม่มีอันตรายต่อมนุษย์ แต่จะมีผลทำให้น้ำมีรสเค็มเท่านั้น โดยปกติในน้ำประปาไม่ควรให้มีความเข้มข้นของคลอไรด์เกิน 250 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2.4 ไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญมีผลต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ดังนั้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพจำเป็นต้องมีไนโตรเจนอย่างพอเพียงแต่ถ้ามีมากเกินไปจะมีผลทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตมากหรือเรียกว่าสาหร่ายเบ่งบาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมปริมาณของไนโตรเจนของน้ำให้เหมาะสม

2.2.5 ฟอสฟอรัส เป็นธาตุหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำเช่นเดียวกับไนโตรเจน ดังนั้นจึงต้องควบคุมปริมาณของฟอสฟอรัสให้เหมาะสม ไม่เช่นนั้นจะก่อปัญหาทำให้แหล่งน้ำเน่าเสียได้เช่นเดียวกับไนโตรเจน

2.2.6 พีเอช เป็นค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจน $[H^+]$ ในน้ำ ใช้บอกความเป็นกรดหรือด่างของน้ำทิ้ง เป็นค่าที่มีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี

ฟิสิกส์และชีววิทยา และจำเป็นต้องควบคุมพีเอชของน้ำทิ้งให้คงที่หรือควบคุมให้อยู่ในช่วงที่จำกัดไว้

2.2.7 สภาพกรดและสภาพด่าง (acidity and alkalinity) สภาพกรดของสารละลายใดๆ คือความสามารถของสารละลายนั้นในการแตกตัวให้โปรตอน น้ำทิ้งที่มีสภาพกรด ค่าความเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตรของแคลเซียมคาร์บอเนตจะมีพีเอชต่ำกว่า 8.2 สภาพด่างของสารละลายใดๆ คือความสามารถของสารละลายนั้นในการรับโปรตอน สภาพด่างของน้ำธรรมชาติหรือน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภคเกิดขึ้นจากองค์ประกอบของสารละลายไบคาร์บอเนต คาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์ น้ำทิ้งที่มีสภาพด่าง ค่าความเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตรของแคลเซียมคาร์บอเนต จะมีพีเอชสูงกว่า 4

2.2.8 ก๊าซ ที่พบในน้ำเสียโดยมากจะเป็นพวกไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย และมีเทน ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่มีอากาศ (anaerobic) และตัวการที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นในน้ำเสีย คือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย และมีเทน ถ้าซัลไฟด์ไปรวมตัวกับเหล็กจะเกิดเป็นเฟอร์รัสซัลไฟด์ซึ่งทำให้น้ำเสียมีสีดำเกิดขึ้น

2.2.9 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ออกซิเจนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ น้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพดีจะมีค่า DO ประมาณ 5-7 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้การละลายของออกซิเจนลดลงหรือ ถ้าในน้ำมีสิ่งมีชีวิตที่ต้องการออกซิเจนมากก็มีผลทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงเช่นกัน ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของน้ำ คือ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี เป็นค่าที่ใช้วัดปริมาณออกซิเจนซึ่งใช้โดยแบคทีเรียเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) และความต้องการออกซิเจนอยู่ทางเคมี (COD) เป็นค่าที่ใช้วัดปริมาณสารอินทรีย์ที่มีในน้ำด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

2.3 ลักษณะน้ำเสียทางชีววิทยา ประกอบด้วยจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรีย สาหร่าย ฟังไจ โปรโตซัว โรติเฟอร์ กัสตาเซียน และไวรัส เป็นต้น กลุ่มจุลินทรีย์ที่ศึกษาพบบางชนิดมีอยู่เดิมในแหล่งน้ำ บางชนิดถูกนำมาสู่แหล่งน้ำ จากอากาศ ดิน ของเสียจากโรงงาน และบ้านเรือน สำหรับจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำผิวดินจะเกิดจากการชะล้างในขณะฝนตก แล้วไหลผ่านพื้นดินลงมารวมกันในแหล่งน้ำ จึงทำให้มีจำนวนและชนิดของจุลินทรีย์แตกต่างกันมาก และถ้าแหล่งน้ำมี

สารอาหารอยู่เป็นจำนวนมาก ก็จะส่งผลให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จุลินทรีย์จำพวกที่ใช้ ออกซิเจนจะดึงออกซิเจนในน้ำไปใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ และทำให้ระดับของ ออกซิเจนละลายน้ำลดลง เกิดสภาพเน่าเสีย มีกลิ่นเหม็น มีจุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็น อันตรายต่อคนได้ เช่น จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล สำหรับจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียที่มีอยู่ มากในแหล่งน้ำ ได้แก่ โคลิฟอร์ม ฟิคัลสเตรปโตค็อกไก *Proteus*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Sphaerotilus*, *Beggiatoa*, *Thiothrix*, *Thiobacillus* และอื่นๆ อาจพบไวรัสจากลำไส้ด้วย ในแหล่งน้ำที่ ไม่ค่อยมีสารอินทรีย์จะพบแบคทีเรียที่แตกหน่อได้ หรือพวกที่มีรยางค์ เช่น *Hyphomicrobium*, *Caulobacter*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter* เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบเชื้อราหลายชนิด เช่น แอสโคไม ซีตัส ไฟโคไมซีตัส และฟังไจอิมพอฟเลกไทด์ด้วย

ฝายหินเรียง

1. ฝาย

ตามพระราชบัญญัติ การชลประทานหลวง พุทธศักราช 2485 ให้ความหมายว่า ฝายเป็นสิ่งก่อสร้างขึ้นเพื่อทดน้ำในทางน้ำซึ่งจะส่งเข้าสู่เขตชลประทาน โดยให้น้ำที่เหลือจากความ ต้องการล้นขึ้นแล้วไหลข้ามไปได้

ฝาย (diversion weir) คือ การทำนบเตี้ยและทึบตันชนิดหนึ่งซึ่งสร้างขวางกั้นทางน้ำ ไหลไว้ลดความกว้างของแม่น้ำ ลำธาร หรือลำห้วย เพื่อทดน้ำให้สูงขึ้นจากระดับน้ำปกติตาม ธรรมชาติ ให้น้ำไหลเข้าคลองส่งน้ำได้เต็มที่ตามความต้องการตลอดฤดูชลประทาน และปล่อยให้ ปริมาณน้ำมากที่สุดของลำน้ำหรือปริมาณน้ำที่เหลือใช้จากการชลประทานไหลล้นข้ามฝายไปได้ โดยไม่เกิดความเสียหายเพราะน้ำท่วมแผ่นดินสองฟากแม่น้ำด้านเหนือของฝายนั้น (ภาควิชา วิศวกรรมชลประทาน, 2546)

ฝายต้นน้ำลำธาร (check dam) คือ สิ่งก่อสร้างขวางหรือกั้นทางน้ำ ซึ่งปกติมักกั้นลำ ห้วย ลำธารขนาดเล็กในบริเวณที่เป็นต้นน้ำ หรือ พื้นที่ที่มีความลาดชันสูงให้สามารถกักตะกอนอยู่ ได้ และหากเป็นช่วงที่น้ำไหลแรงก็สามารถชะลอการไหลของน้ำให้ช้าลง และกักเก็บตะกอนไม่ให้ ไหลลงไปทับถมลำน้ำตอนล่าง ซึ่งเป็นวิธีการอนุรักษ์ดินและน้ำได้ดีมากวิธีหนึ่ง (ชมัยภรณ์และ คณะ, 2548)

2. หินเรียง

หิน (rock) หมายถึง อนินทรีย์สารที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติประกอบด้วยแร่ตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป บางทีใช้คำนิยามสั้นๆ ว่า “aggregate of mineral matter” หินบางชนิดอาจมีแร่เด่นเพียง 1 ชนิด แต่ก็มักจะมีแร่อื่นผสมอยู่บ้างแต่ปริมาณน้อยมาก ซึ่งนักวิชาการบางคนจัดหินที่มีแร่ชนิดเดียวกันว่า แร่ (สง่า, 2541) หินที่เป็นส่วนประกอบของเปลือกโลกมี 3 ประเภท คือ หินอัคนี (igneous rock) หินตะกอน (sedimentary rock) และหินแปร (metamorphic rock) สำหรับในภาคใต้พบหินจำพวกหินปูนเป็นส่วนใหญ่มีสูตรโมเลกุล คือ CaCO_3 มีน้ำหนักโมเลกุล 100.09 g/mol ความหนาแน่น 2.8 g/m³ จุดหลอมเหลว 825 องศาเซลเซียส (ไม่คงตัว) มีคุณสมบัติเป็นผลึกหรือผง ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายได้ในกรดอ่อน ในพื้นที่จังหวัดตรังจะประกอบด้วยหินประเภทหินตะกอนจำพวกหินปูนที่มีต้นกำเนิดทางเคมีเกิดจากอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การตกตะกอนของสารละลายหินตะกอน การสะสมตัวของเศษเปลือกแข็งของสิ่งมีชีวิตในทะเล ได้แก่ ปะการัง สาหร่าย หอย สัตว์และพืชน้ำอื่นๆ สร้างขึ้นในกระบวนการเพื่อการดำรงชีพ บริเวณที่มีการสะสมตัวของหินปูนได้ดีคือทะเลน้ำตื้น ในเขตร้อนหินปูนอีกส่วนหนึ่งเกิดจากกระบวนการอนินทรีย์เคมีที่ไม่เกี่ยวข้องกับกระบวนการของสิ่งมีชีวิตเลยเช่นการตกตะกอนของโคลนคาร์บอเนตบางชนิด ส่วนหินปูนที่มีกำเนิดบนพื้นทวีป เช่น ในทะเลสาบหรือที่เกิดเป็นหินงอก-หินย้อย ทรายหินปูน (tufa) และทราเวอร์ทีน (travertine) นั้น จะมีปริมาณน้อยกว่ามาก

หินเรียง (dry pitching) คือ การประดับหินให้เรียบร้อย เป็นหน้าเป็นแนว แต่ปราศจากเชื้อประสานอย่างใด (กรมชลประทาน, 2551)

3. ฝายหินเรียง

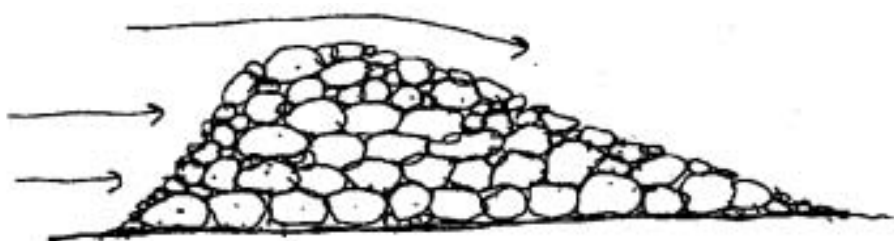
3.1 นิยามและความหมาย

ฝายหินเรียง (rock check dam) หมายถึง การก่อสร้างฝายกั้นน้ำ ทางน้ำ คูน้ำ โดยใช้หินมาเรียงให้เป็นรูปร่างอย่างเป็นระเบียบ โดยสามารถสร้างขึ้นแบบถาวรหรือชั่วคราวได้ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยม เพื่อให้หน้าตามธรรมชาติสามารถไหลผ่านก้อนหินหรือไหลล้นข้ามฝายไปได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ใช้หินก้อนใหญ่วางเป็นฐานเพื่อความแข็งแรงและใช้หิน

ขนาดลดหลั่นกันลงมาวางเรียงเป็นรูปฝาย เพื่อใช้ในการลดการชะล้างจากการพังทลายของดินในพื้นที่รับน้ำ และช่วยในการกักตะกอนดินไม่ให้ไปมีผลต่อแหล่งน้ำด้วย (Gray and Leiser, 1982)

3.2 ลักษณะหรือรูปแบบของฝายหินเรียง

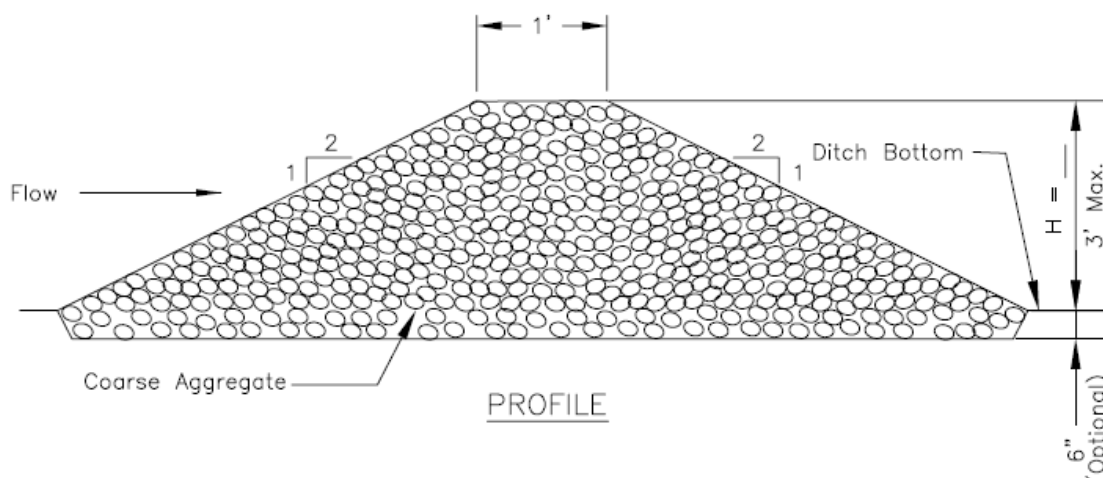
ฝายมีหลายชนิดและมีรูปร่างต่างๆ กัน แต่โดยมากรูปตัดของฝายจะเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมคางหมู ฝายสร้างด้วยวัสดุหลายชนิด เช่น กิ่งไม้ เสาไม้ ดิน ทราย กรวด หินเล็ก หินใหญ่ ไม้กระดาน คอนกรีต หินก่อ คอนกรีตเสริมเหล็ก และอาจสร้างด้วยวัสดุเหล่านี้ผสมกัน คณิต (2546) กล่าวว่า การก่อสร้างฝายหินเรียง โดยการใช้หินที่มีอยู่ในลำห้วยเรียงเป็นชั้นๆ ขวางลำห้วยใช้หินก้อนใหญ่วางเป็นฐานเพื่อความแข็งแรง และใช้หินขนาดลดหลั่นกันลงมาวางเรียงเป็นรูปฝายที่มีความลาดเทรับแรงกระแทกของน้ำด้านหน้าฝาย และลาดเทลงด้านท้ายฝายโดยมีความลาดมากกว่าด้านหน้าฝายเพื่อลดแรงกัดเซาะฐานฝาย ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะของฝายหินเรียง

ที่มา: คณิต (2546)

Natural Resources Conservation Service (NRCS) (1999) กล่าวว่าในหัวข้อ rock check dam fact sheet ว่าการก่อสร้างฝายหินเรียงควรมีความสูงอยู่ระหว่าง 30-90 เซนติเมตร ไม่ควรสูงกว่าทางน้ำไหลหรือคูน้ำ ความกว้างของสันฝายสูงสุดไม่เกิน 60 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างฝายแล้วแต่กำหนด โดยใช้หินขนาดพอเหมาะ ซึ่งการทดลองในเมืองโคโลราโดได้ใช้หินขนาด 9 นิ้ว โดยลักษณะของฝายหินเรียงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ลักษณะการก่อสร้างฝายหินเรียง

ที่มา: NRCS (1999)

3.3 วิธีการออกแบบฝายหินเรียง

การออกแบบฝายหินเรียงขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ลักษณะด้านความกว้างของลำน้ำ ความลึก ความเร็วน้ำ และความลาดชันของพื้นที่ ซึ่งมีความเฉพาะต่อรูปแบบของฝายหินเรียง เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดวิธีการออกแบบฝายควรมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 ควรวางฝายเป็นแนวเดียว และให้ฐานฝายอยู่ระดับเดียวกับสันฝาย

3.3.2 ความลาดชันควรอยู่ที่ 1:2 สำหรับพื้นที่ต้นน้ำ และ 1:3 สำหรับพื้นที่ท้ายน้ำมีความสูงไม่เกิน 180 เซนติเมตร ซึ่งสามารถคำนวณระยะห่างของฝายโดยการเปรียบเทียบกันระหว่างอัตราส่วนความสูงของฝายกับความลาดชัน (horizontal: vertical) ดังตารางที่ 1

มีรายงาน Office of Water (1999) พบว่า ความลาดเอียงของร่องน้ำจะมีผลที่สามารถช่วยให้สามารถลดมลพิษในสิ่งแวดล้อมได้ตามอายุการใช้งาน เกิดจากการที่เมื่อความลาดชันเพิ่มการกรองก็จะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะมาจากที่ฝายหินเรียงจะช่วยให้การกักเก็บน้ำและช่วยกรองน้ำแต่เมื่อปริมาณน้ำมากขึ้นหรือความเร็วน้ำที่สูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพลดลง จะทำให้น้ำท่วมขัง

ในจุดที่มีการเก็บกักไว้ ทำให้เกิดเป็นแอ่งน้ำที่ทำให้เกิดการเพาะพันธุ์ยุงลายและยังสามารถส่งกลิ่นรบกวนอีกด้วย

ตารางที่ 1 ระยะห่างของฝายต่ออัตราส่วนความสูงของฝายกับความลาดชัน

ความลาดชัน (%) ของร่องน้ำ	ระยะห่าง
1	200 ฟุต หรือ 60 เมตร
2	100 ฟุต หรือ 30 เมตร
4	50 ฟุต หรือ 15 เมตร
6	33 ฟุต หรือ 9.9 เมตร
8	25 ฟุต หรือ 7.5 เมตร
10	20 ฟุต หรือ 5 เมตร

ที่มา: Sediment Management Practices (2004)

Minnesota Pollution Control Agency (1991) กล่าวว่าทางน้ำควรจะมีความลาดชันน้อยกว่า 2% Storm water management manual for the Puget Sound Basin (1992) จะแจ้งไว้ว่าทางน้ำที่สามารถดำเนินการได้นั้นควรจะอยู่ที่ 2-4 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ความลาดชันที่ต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์นั้นสามารถใช้ได้ถ้ามีการออกแบบการระบายน้ำให้รวมตัวกันได้ สำหรับความชันที่มากกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ นั้นสามารถทำได้ถ้ามีตัวลดความเร็วของน้ำ เช่น ฝายหินเรียง เป็นต้น และ Schueler (1987) กล่าวว่าความลาดชันของรางรับน้ำสามารถลดลงได้ถึงศูนย์ ส่วนอัตราเร็วของน้ำไม่ควรเกิน 1 เมตรต่อวินาที หรือ 140 ลิตรต่อวินาที หรือ 5 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (Office of Water, 1999)

3.3.3 ขนาดหินควรเพิ่มตามความลาดชัน และความเร็วของน้ำ ขนาดหินควรที่จะพอสำหรับกระแสน้ำโดยมีขนาดของหินตามความเร็วของน้ำ ดังตารางที่ 2 ซึ่งการคิดระยะห่างแบบนี้จะคิดจากฝายที่มีความสูง 3 ฟุต และมีจุดกึ่งกลางของฝายต่ำกว่าขอบร่องน้ำประมาณ 6 นิ้วซึ่งใช้หินขนาด 5-10 นิ้ว บริเวณตรงกลางของฝายควรอยู่ต่ำกว่าขอบประมาณ 9 นิ้ว หรือ 22.5 เซนติเมตร เพื่อให้ น้ำไหลผ่านไปได้โดยตัวฝายไม่กร่อน ในกรณีที่น้ำไหลแรงควรเพิ่มหินไปที่ด้านหลังฝายเพื่อป้องกันการกร่อน

ตารางที่ 2 ขนาดหินที่เหมาะสมในการสร้างฝายตามความเร็วน้ำ

ความเร็วน้ำ	ขนาดหินที่เหมาะสม
6 ฟุตต่อวินาทีหรือ 1.8 เมตรต่อวินาที	5 นิ้วหรือ 12.5 เซนติเมตร
8 ฟุตต่อวินาทีหรือ 2.4 เมตรต่อวินาที	10 นิ้วหรือ 25.0 เซนติเมตร
10 ฟุตต่อวินาทีหรือ 3.0 เมตรต่อวินาที	14 นิ้วหรือ 35.0 เซนติเมตร
12 ฟุตต่อวินาทีหรือ 3.6 เมตรต่อวินาที	20 นิ้วหรือ 50.0 เซนติเมตร

ที่มา: Sediment Management Practices (2004)

3.3.4 ฝายหินควรมีความสูงไม่เกิน 3 ฟุตหรือประมาณ 1 เมตร

3.4 การบำรุงรักษา

ควรตรวจสอบรูรั่วบริเวณใต้หรือรอบๆ ฝายหลังจากฝนตก ควรการนำตะกอนออกจากฝายเมื่อตะกอนมีความสูงมากกว่าครึ่งหนึ่งของฝายเพื่อรับมือกับน้ำที่ไหลมาพร้อมกับตะกอน เดิมหินให้เท่ากับที่ออกแบบเมื่อมีการสูญหาย ตรวจสอบสิ่งก่อสร้างอื่นๆ ที่จะไปขวางทางน้ำ ทั้งนี้การสร้างฝายหินจะทำให้ท้องน้ำเหนือตัวฝายตื้น เนื่องจากการตกตะกอนของดิน เราจึงควรสร้างบ่อเก็บตะกอนเอาไว้บริเวณเหนือฝายเพื่อยืดระยะเวลาในการซ่อมบำรุงฝาย

กลไกการบำบัดน้ำเสียด้วยฝายหินเรียง

การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ฝายหินเรียงกล่าวได้ว่าเป็นการนำหินมาเรียงให้เป็นระเบียบ ด้วยวิธีการเรียงแบบสลับหว่างระหว่างแถวตามธรรมชาติของก้อนหิน ให้หินก้อนใหญ่กว่าอยู่ด้านล่างเพื่อเป็นฐาน จัดเรียงขึ้นทีละชั้นโดยไม่มีการยาแนวหรือปิดช่องว่างระหว่างหิน ให้น้ำไหลเข้าฝายแบบอิสระตามธรรมชาติ การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบฝายหินเรียงเป็นการบำบัดน้ำเสียทางธรรมชาติ (natural treatment processes) อาศัยพลังงานจากน้ำเสีย และกระบวนการทางธรรมชาติ น้ำเสียไหลตามทางน้ำโดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก แสงแดด กระแสลม การตกตะกอน และอาศัยจุลินทรีย์ในธรรมชาติเมื่อสัมผัสก้อนหินเกิดเป็นไบโอฟิล์มช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้ลดลงได้

O'Melia and Stumm (1969) ได้เสนอแนะว่าหลักการกำจัดสารแขวนลอยในตุ่มกลางจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของสารแขวนลอยตุ่มกลาง ลักษณะทางเคมีของน้ำและอัตราการกรอง การกำจัดสารแขวนลอยจะเกิดขึ้นภายในตุ่มกลาง ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการทำงานที่ต่อเนื่องกัน 2 กลไก คือ กลไกการเคลื่อนย้าย (transport mechanism) สารแขวนลอยในน้ำให้เข้าไปหาสารกรองซึ่งอยู่นิ่งๆ และกลไกการทำให้สารแขวนลอยเกาะจับอยู่กับตุ่มกลาง หรือสิ่งที่ติดอยู่บนตุ่มกลางก่อนแล้ว (attachment mechanism)

1. การเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาตุ่มกลาง

การเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาตุ่มกลางเป็นการกำจัดสารแขวนลอยออกจากเส้นทางการไหลของน้ำ (streamline) (ภาพที่ 4) โดยทำให้อนุภาคแขวนลอยเข้ามาใกล้ชิดกับตุ่มกลาง การกระทำดังกล่าวจะขึ้นกับปัจจัยทางชลศาสตร์กายภาพ (physico-hydraulic factor) กลไกการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาตุ่มกลางนั้น หากพิจารณาถึงการเคลื่อนที่ของอนุภาคแขวนลอยในชั้นของตุ่มกลางตามขนาดของอนุภาคแขวนลอย สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1.1 การเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของสารที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ระดับโมเลกุลที่เกิดจากการแพร่กระจายแบบบราวเนียน (brownian diffusion)

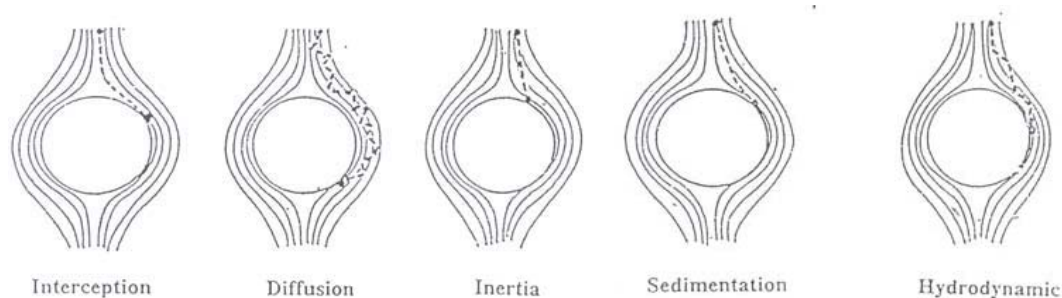
1.2 การเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหลของน้ำ โดยเป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 1×10^{-6} เมตร จะมีลักษณะของการกรองแบบการติดค้างหรือการดัก (interception) แรงเฉื่อย (inertia) และการตกตะกอน (sedimentation) สำหรับสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกว่า 1×10^{-6} เมตร จะมีกลไกการไหลผ่านผิวตุ่มกลางมีความสลับซับซ้อนกว่ามีลักษณะแบบแรงกระทำทางพลศาสตร์ (hydrodynamic action) และการแพร่ (diffusion)

1.2.1 การติดค้างหรือการดัก เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคแขวนลอยเบียดเข้าหาตุ่มกลางในขณะที่ผ่านช่องว่างของตุ่มกลางและติดค้างอยู่ในช่องว่างของตุ่มกลางนั้น

1.2.2 แรงเฉื่อย อนุภาคแขวนลอยจะเคลื่อนที่เข้าหาตุ่มกลางโดยอาศัยแรงเฉื่อยในอนุภาค

1.2.3 การตกตะกอน อนุภาคแขวนลอยขนาดใหญ่จะตกตะกอนในทิศทางที่เคลื่อนที่เข้าหาดัวกลางได้ ซึ่งการตกตะกอนเป็นผลมาจากแรงดึงดูดของโลกทำให้อนุภาคมีความเร็วในการตกตะกอนมากจนสามารถแยกตัวออกจากเส้นทางการไหลของน้ำ

1.2.4 แรงกระทำทางพลศาสตร์ เป็นแรงกระทำทางพลศาสตร์ ส่งผลทำให้อนุภาคแขวนลอยเคลื่อนที่เข้าปะทะกับดัวกลาง



ภาพที่ 4 กลไกการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาดัวกลางหรือสารกรอง

ที่มา: Ives (1970)

เกษม (2541) กล่าวว่า การเคลื่อนที่ของน้ำเสียภายหลังจากปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ต้องพิจารณาความเร็วของการเคลื่อนที่ด้วย โดยน้ำเสียที่ไหลหรือเคลื่อนที่เร็วในลักษณะที่ปั่นป่วน (turbulence) มีโอกาสสัมผัสอากาศมาก เท่ากับเป็นการเติมอากาศลงในน้ำเสียตามธรรมชาติ การย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ความเงาของมลสารและความสกปรกจะลดลงด้วย อนึ่งการมีสิ่งขีตขวางทางเดินของน้ำเสียให้มีการกระเด็นหรือแตกกระจายจะทำให้มีการเติมอากาศได้มากขึ้น

2. การจับสารแขวนลอย

เป็นการเกาะติดของอนุภาคแขวนลอยบนพื้นผิวของดัวกลาง หรือสิ่งอื่นที่ติดอยู่บนดัวกลางแล้ว การจับอนุภาคแขวนลอยอาศัยกลไกการเคลื่อนย้ายนำเอาอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็กเข้าไปใกล้พื้นผิวของดัวกลางและถูกจับเข้ากับดัวกลางในระหว่างที่น้ำไหล ถ้าหากดัวกลางมีความฝืดหรือเกิดการอุดตันมากขึ้น แรงที่เกิดจากการไหลของน้ำจะมีค่าสูงขึ้นตามด้วย เป็นผลทำให้อนุภาคแขวนลอยที่ติดอยู่บนดัวกลางบางส่วนหลุดออกไป ด้วยกลไกที่เรียกว่า detachment mechanism

และถ้าหากพื้นที่ว่างบนตัวกลางถูกใช้ไปจนเกือบหมดจะทำให้อนุภาคแขวนลอยหลุดออกจากตัวกลางเพิ่มขึ้น

3. การตกตะกอน

การตกตะกอน (sedimentation) เป็นวิธีการแยกตะกอนแขวนลอยจากน้ำเสียต่างๆ โดยอาศัยการจมตัวของตะกอนแขวนลอยที่มีความถ่วงจำเพาะของตะกอนสูงกว่าน้ำ วิธีการกำจัดตะกอนออกจากน้ำเสียด้วยวิธีนี้ได้ถูกใช้กันอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เพื่อให้หน้าที่ถูกผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสีย มีความใสและสะอาด สำหรับน้ำเสียก่อนที่จะไหลสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีชีววิทยา ถ้ามีการกำจัดตะกอน (ใช้ถังตกตะกอนแรก) เสียก่อน จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย และยังสามารถลดค่า BOD_5 ในน้ำเสียได้อีกด้วย (เกรียงศักดิ์, 2539)

ตะกอนที่เกิดขึ้นมาจากการชะล้างจากพื้นที่ลุ่มน้ำ แบ่งได้ตามขนาดเป็นสองชนิดใหญ่ๆ คือ bedload หมายถึงตะกอนที่มีขนาดใหญ่ ส่วนมากจะเป็นหิน กรวด และทราย ตะกอนเหล่านี้มักถูกพัดพาไปตามท้องลำธาร ทั้งนี้เป็นเพราะมีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามตะกอนพวกนี้มักจะขัดถูท้องลำธารไปด้วยขณะที่เคลื่อนที่ ทำให้ผิวท้องลำธารถูกขัดสีไปด้วย ท้องลำธารจะสึกกร่อนเกิดความขรุขระอันเป็นลักษณะของ Kart หรือ Kart topography ตะกอนมักจะตกตะกอนนอนก้นตามแนวเขตที่เป็น “flow separation” หรือตามท้องธารหรือฝางลำธารต่างๆ ไป ตะกอนที่มีขนาดใหญ่มาก เช่น พวงหินตกตะกอนอยู่ตามท้องลำธาร นอกจากกระแสน้ำเชี่ยวมากเท่านั้นที่จะทำให้ตะกอนพวก bedload ถูกพัดพาไปไกลได้ ตะกอนอีกขนาดหนึ่งคือ suspension เป็นตะกอนที่มีขนาดเล็ก ได้แก่ อนุภาคดิน (soil particles) พวง silt และ clay อาจมีพวงทรายละเอียด (very fine sand) อยู่ตามผิวท้องลำธารบ้าง ตะกอนขนาดเหล่านี้มักถูกพัดพาไปตามกระแสน้ำ ไปตกตะกอนยังที่ไกลสุด หรือ ณ ที่ที่น้ำหยุดนิ่ง ยิ่งไปกว่านี้ ตะกอนที่ถูกพัดพาไปกับน้ำนั้น มีผลทำให้คุณภาพน้ำเสียไปทั้งกายภาพ คือมีตะกอน ขยะมูลฝอยในน้ำ ทางเคมีอาจทำให้สารเคมีที่ถูกพัดพามากเกินไปในน้ำยาปราบศัตรูพืช โลหะหนัก รวมทั้งจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรียถูกชะล้างจากแหล่งชุมชนปนเปื้อนมาด้วยทำให้คุณภาพน้ำทางชีวภาพเสื่อมโทรม (เกษม, 2551)

ดินตะกอนจึงมีบทบาทต่อสิ่งแวดล้อมในระบบนิเวศทางน้ำและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตบนบกด้วย ดินตะกอนนั้นมีคุณสมบัติที่ค่อนข้างยุ่งยาก และสลับซับซ้อนมาก ไม่ว่าจะเป็นทางด้านฟิสิกส์ เคมี และชีวะ และดูเหมือนยังไม่สามารถบอกได้ว่าคุณสมบัติด้านต่างๆ ตะกอนยัง

สามารถดูดซับเอาสารมลพิษอื่นๆ เช่น ธาตุอาหารพืช สารปราบศัตรูพืช วัตถุมีพิษ และแม้กระทั่งแบคทีเรียและไวรัสไว้ได้อีกด้วย ขณะใดก็ตามที่พลังน้ำไหลในลำน้ำนั้นน้อยกว่าปริมาณตะกอนที่กักเซาะและรวมอยู่ในพลังไหล่นั้น การตกตะกอนจะเกิดขึ้น ดังนั้นการจะควบคุมปริมาณตะกอนได้ก็ต้องควบคุมพลังไหลของน้ำ หรือทำให้สองฝั่งลำน้ำอยู่ในลักษณะที่ไม่มีการพังทลายของดินเกิดขึ้นนั่นเอง (นิพนธ์, 2545)

4. การใช้จุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลางหรือฟิล์มชีวภาพบำบัดน้ำเสีย

ฟิล์มชีวภาพหรือไบโอฟิล์ม หมายถึง กลุ่มเซลล์ของจุลินทรีย์ และผลิตภัณฑ์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นแล้วขับออกมานอกเซลล์ โดยยึดเกาะอยู่บนพื้นผิวของของแข็ง (substratum) ซึ่งของแข็งที่ใช้เป็นวัสดุตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ (สิทธิโชค, 2547)

ระบบจุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลางหรือฟิล์มชีวภาพ (biofilm treatment) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (biological treatment) ซึ่งใช้วิธีจับตรึงจุลินทรีย์อยู่กับที่ (immobilization) เพื่อบำบัดน้ำเสียที่ไหลผ่านจุลินทรีย์ดังกล่าว มีวิธีการจับตรึง 3 วิธีหลัก คือ carrier binding method, entrapment method, cross-Linking method สำหรับระบบจุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลางจะพิจารณาว่าเป็นแบบ carrier binding method แต่อีกสองวิธีข้างต้นก็ยังเป็นวิธีจับตรึงจุลินทรีย์ เพื่อการบำบัดน้ำเสียได้ (เกรียงศักดิ์, 2543)

4.1 กระบวนการเกิดฟิล์มชีวภาพบนผิวตัวกลาง

4.1.1 การขนส่ง (transportation) เซลล์จุลินทรีย์ไปยังผิวของวัสดุตัวกลาง โดยจุลินทรีย์ที่ปะปนกับน้ำเสียจะอยู่ในลักษณะเซลล์เดี่ยว (individual cell) มีสภาพลอยลอยและเคลื่อนที่ตามกระแสน้ำ (planktonic cells)

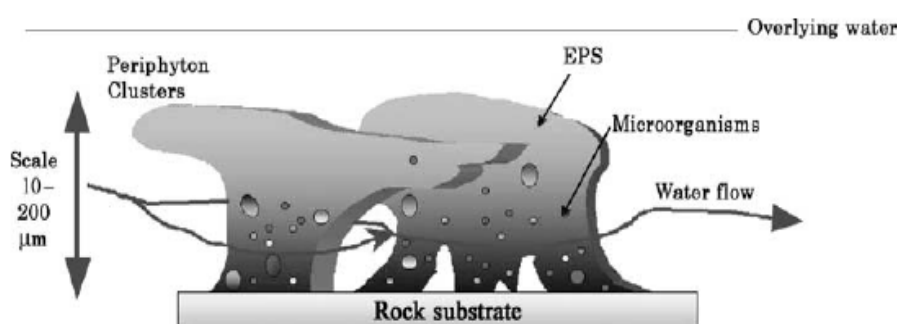
4.1.2 การขนส่ง (transportation) และการดูดซับ (absorption) ของโมเลกุลสารอินทรีย์ไปยังผิวของวัสดุตัวกลาง การขนส่งสารผ่านเยื่อเมมเบรนเข้าหรือออกจากเซลล์ได้ด้วยกลไก 2 แบบ คือ แรงไม่ชอบน้ำ (hydrophobic action) และแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic action)

ก. แรงไม่ชอบน้ำ ธงชัย (2544) กล่าวว่า เนื่องจากเยื่อเมมเบรนของพลาสมาโดยธรรมชาติไม่ชอบน้ำ ทำให้สารประกอบประเภทลิพอฟิลิก (lipophilic) สามารถแพร่ผ่านเมมเบรนได้ดีกว่าสารประกอบที่แตกตัวเป็นไอออน (ionized) ซึ่งอัตราการแพร่ผ่านเมมเบรนของเซลล์ขึ้นอยู่กับความสามารถของสารละลายในลิพิด และความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างสองด้านของเมมเบรน เกรียงศักดิ์ (2543) กล่าวว่า เป็นการดูดซับของเซลล์จุลินทรีย์บนผิว ซึ่งค่อนข้างเสถียร และมีพลังงานอิสระโดยที่ผิวของสารไม่ชอบน้ำ เช่น polystyrene, polyethylene สามารถดูดซับจุลินทรีย์ hydrophobic microorganism สำหรับพวก hydrophobic ของซิลิกอนไดออกไซด์สามารถดูดซับจุลินทรีย์ hydrophobic ทางกายภาพของผิวตัวกลางมีความสำคัญต่อการยึดเกาะของจุลินทรีย์ ความขรุขระของผิวตัวกลางจะมีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะตัวกลาง พบว่ายิ่งผิวตัวกลางขรุขระมากก็จะให้จุลินทรีย์ยึดเกาะได้มากกว่าผิวตัวกลางที่ขรุขระน้อย

ข. แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต ธงชัย (2544) ได้กล่าวว่า เป็นการขนส่งไวงานของสารประกอบประเภทชอบน้ำ หรือไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) ซึ่งหมายถึงไม่ละลายในลิพิด และไม่สามารถผ่านเมมเบรนของเซลล์ได้ด้วยการแพร่ จึงต้องใช้กลไกการขนส่งไวงานมาช่วย ต้องอาศัยโปรตีนที่เป็นพาหะที่เฉพาะเจาะจงสำหรับสารนั้นๆ เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และไอออน เป็นต้น และต้องใช้พลังงานในรูป ATP หรือ PEP มาขับเคลื่อนสารให้ผ่านเมมเบรน ซึ่งทำให้เซลล์สามารถสะสมสารเคมีด้านกับเกรเดียนต์ความเข้มข้น (concentration gradient) ได้ นอกจากนี้ เกรียงศักดิ์ (2543) กล่าวว่า เป็นประจุไฟฟ้าที่เกิดจากสารเคมีต่างๆ ของจุลินทรีย์โดยมีไฮดรอกซิล (-OH) ของสารละลายมาเกี่ยวข้อง เช่น สารอะมิโน พวกคาร์บอกซิล และพวกฟอสเฟต เกิดแรงดึงดูดผิวระหว่างจุลินทรีย์ประจุลบกับตัวกลางที่มีประจุบวกจึงยึดติดกันดีขึ้น และจากการศึกษาของ Stoodley and Paul (2002) พบว่าจุลินทรีย์จำพวก non motility เช่น *Streptococcus*, *Staphylococcus* และ *Mycobacteria* ใช้โปรตีน และโพลีแซคคาไรด์ ในการเข้าดึงดูดกับพื้นผิว

4.1.3 การเกาะยึดของจุลินทรีย์ (microbial attachment) กลไกการเกาะยึดของจุลินทรีย์มีด้วยกันมากมายหลายรูปแบบ แต่ส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์จะสร้างเส้นใยขนาดเล็กกรอบตัวเซลล์ เส้นใยเหล่านี้จะเกาะจับแน่นกับเส้นใยของเซลล์อื่นๆ ทำให้จุลินทรีย์สามารถเกาะติดหนาเป็นฟิล์มบนผิววัสดุตัวกลางได้ เส้นใยเหล่านี้เรียกว่า Glycocolyx เป็นเส้นใยสายโมเลกุลน้ำตาลชนิดที่มีกิ่ง (branching sugar molecules) ตัวเซลล์ของจุลินทรีย์จะฝังจมอยู่ในเส้นใยดังกล่าว ซึ่งเป็นสารพวก polysaccharides เส้นใยนี้เป็นที่เก็บน้ำย่อยที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ให้เล็กลง และสามารถละลายน้ำได้ ก่อนที่จะถูกดูดซึมผ่านผนังเซลล์แบคทีเรีย (สิทธิโชค, 2547)

นอกจากนี้ Stoodley and Paul (2002) ได้สรุปไว้ในการศึกษาการพัฒนาของจุลินทรีย์ไบโอฟิล์มกล่าวว่า จุลินทรีย์บางชนิดที่มีโครงสร้างพิเศษสำหรับการเกาะยึดของจุลินทรีย์ โดยแบคทีเรียพวก motility bacteria เช่น *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* และ *Vibrio cholerae* มี flagella และ pili ในขณะที่สาหร่าย *Oscillatoria* sp. จะใช้ filament ที่มีอยู่ในโครงสร้างของสาหร่ายเป็นตัวช่วยเกาะยึดติดกับพื้นผิว (Bilfton, 1999) นอกจากนี้ดวงพร (2545) กล่าวว่าแบคทีเรียที่มีรูปร่างไม่ปกติเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวต่อปริมาตร ส่งผลให้ประสิทธิภาพการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์มากขึ้น เช่น แบคทีเรียมีก้าน (Stalked bacteria) เช่น *Caulobacter* sp. และ *Hyphomicrobium* sp. ในบางสภาวะแบคทีเรียเกาะติดกับพื้นผิวหรือก่อตัวเป็นกลุ่มเมื่อความเข้มข้นของสารอาหารพบที่เจริญของเชื้อ ดังแสดงในภาพที่ 5

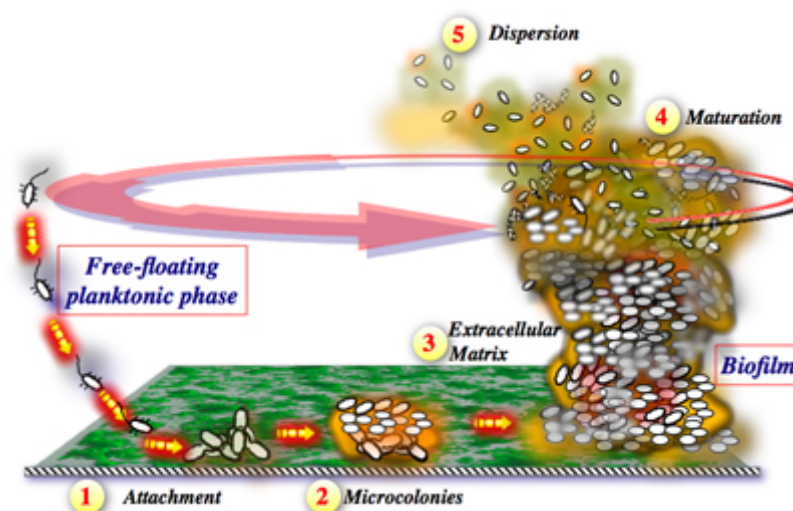


ภาพที่ 5 การเกาะติดของจุลินทรีย์กับตัวกลาง

ที่มา: Holding *et al.* (2001)

4.1.4 การเปลี่ยนรูป (transformation) ของจุลินทรีย์เป็นฟิล์มชีวภาพบริเวณผิวของตัวกลาง ในขั้นตอนนี้มีการสร้างตัวเป็นกลุ่ม (colonization) ไบโอฟิล์มจะเริ่มสร้าง extracellular polysaccharide polymeric (EPS) ขึ้นเพื่อทำหน้าที่ในการเป็นสารเชื่อมระหว่างเซลล์ต่อเซลล์ สารประกอบ EPS องค์ประกอบถึง 65% เป็น polysaccharide ส่วนที่เหลือเป็น nucleic acid, protein และ lipid นอกจากนี้ยังอาจพบ glucoside, glycoprotein และ glucophosphate โดยอาจใช้เวลาตั้งแต่เป็นชั่วโมงจนถึงหลายวันตลอดวงจรเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ตั้งแต่เริ่มสร้างเซลล์ขึ้นเรื่อยๆ จนถึงชั้นฟิล์มชีวภาพที่มีความหนาเพิ่มขึ้น (Laxarova and Manem, 1995) โดยการเจริญเติบโต (growth) ของฟิล์มชีวภาพเริ่มหนาขึ้น จนเกินกว่าความหนาของชั้นประสิทธิภาพ อัตราการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์เริ่มคงที่ หรือที่เรียกว่าช่วง stationary phase ถ้าสารอินทรีย์มีปริมาณต่ำจะทำให้ไบโอฟิล์มเพิ่มขึ้นไม่ได้ เนื่องจากปริมาณอาหารมีน้อยกว่าที่ต้องการ เพื่อใช้สำหรับซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของไบโอฟิล์ม

สำหรับการเกิดเป็นเส้นสายของไบโอฟิล์มนั้นเกิดจากการกระทบกันของเซลล์ที่อยู่ในระบบแบบไหลเวียน และภายใต้สภาวะที่คาร์บอน-ไนโตรเจนที่ไม่สมดุล โดยในสภาวะที่คาร์บอนต่ำหรือการกระจายของธาตุอาหารเกิดขึ้นในแนวยาวทำให้เซลล์มีลักษณะที่ยาวขึ้น ในขณะที่ธาตุอาหารมีการกระจายคงที่ทำให้เซลล์มีขนาดกว้าง (Steinberger *et al.*, 2002) กระบวนการเจริญเติบโตของไบโอฟิล์มบนผิวก่อนหินดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การเจริญของไบโอฟิล์มบนผิวดังกลาง

ที่มา: Ghigo *et al.* (2006)

4.1.5 การหลุด (detachment) ของฟิล์มชีวภาพบางส่วน เพื่อสร้างฟิล์มใหม่เมื่อไบโอฟิล์มขยายตัวเพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตของไบโอฟิล์ม มีอัตราเท่าๆ กันกับอัตราการลดลงของจุลินทรีย์ ณ สภาวะ endogenous respiration ซึ่งในช่วงที่อาหารถูกใช้หมดจนไม่เพียงพอแก่จุลินทรีย์ และเกิดปัญหาทางจรรยาอาหารในระบบชีวเคมีและเกิดชะล้างโดยแรงเฉือน (shear force) Trulear and Characklis (1982) กล่าวว่า การหลุดลอกของฟิล์มชีวภาพจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับสภาวะไฮโดรไดนามิก (Hydrodynamic condition) เช่น ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านแรงเฉือน ร่วมกับปัจจัยอื่นๆ เช่น สัณฐานวิทยาของฟิล์มชีวภาพ และลักษณะของวัสดุรองรับ เมื่อฟิล์มชีวภาพมีความหนาแน่นมากขึ้น และถึงจุดหนึ่ง สารอาหารและออกซิเจนจะไม่สามารถแพร่เข้าสู่เซลล์ที่อยู่ด้านในได้ โดยที่สารอาหารสามารถแพร่ลงไปได้ลึกกว่าออกซิเจน เซลล์ของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศ

ยังสามารถเจริญเติบโตได้ แต่เซลล์ที่อยู่ลึกลงไปจนสารอาหารแพร่ไปไม่ถึง เซลล์บริเวณนั้นจะตาย และสลายตัวไปพร้อมกับการหลุดลอกออกไป

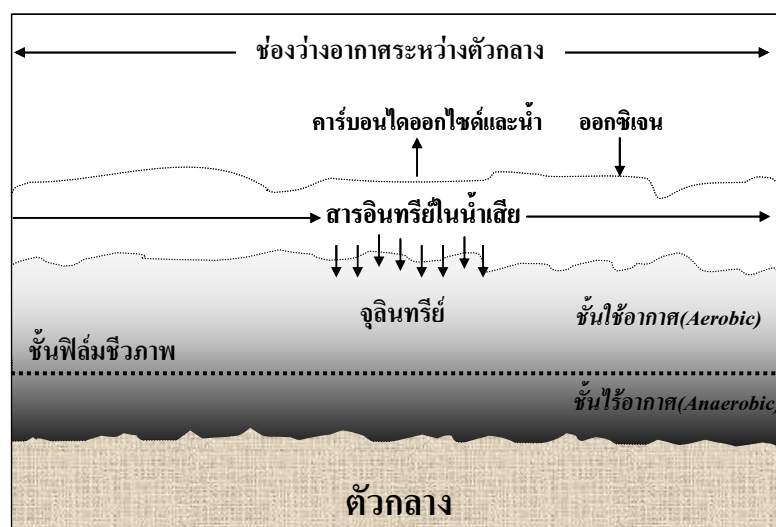
4.2 กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ของฟิล์มชีวภาพ

ภายหลังการเกาะติดของฟิล์มชีวภาพเมื่อมีความหนาเพิ่มขึ้น จะแบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นใช้อากาศ (aerobic) และไม่ใช้อากาศหรือไร้อากาศ (anaerobic) โดยความหนาของชั้นใช้อากาศ ประมาณ 250-300 μm ความหนาของชั้นนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ซึ่งฟิล์มชีวภาพในระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ การกำจัดสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นเฉพาะผิวนอกบางๆ เท่านั้น (สิทธิโชค, 2547) อนุภาคสารจะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์อยู่ภายนอกฟิล์มชีวภาพ เมื่ออนุภาคสารถูกย่อยสลายให้สารละลายสับแตร์จะทำหน้าที่เป็นสารให้อิเล็กตรอน และออกซิเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอนจากของเหลวไปยังเขตร่วมระหว่างชั้นของเหลว (Fluid-biofilm interface) และผิวหน้าของฟิล์มชีวภาพ สารอินทรีย์และออกซิเจนละลายน้ำจะแพร่ (diffusion) มีการถ่ายเทผลผลิตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาชีวเคมีในฟิล์มชีวภาพ คือ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำผ่านเขตร่วมไปยังชั้นของฟิล์มชีวภาพ เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นมีการใช้สารอินทรีย์และออกซิเจนที่ละลายน้ำ โดยจุลินทรีย์ในชั้นของฟิล์มชีวภาพ (เกรียงศักดิ์, 2535) ดังแสดงในภาพที่ 7

การบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บนผิวของตัวกลางหรือฟิล์มชีวภาพ เกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ การบำบัดน้ำเสียโดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ และไม่ใช้อากาศ อธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

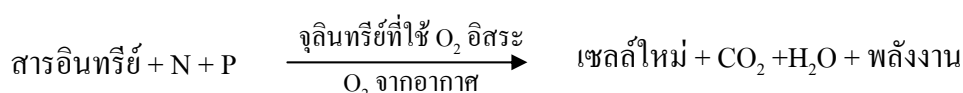
4.2.1 การบำบัดน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ (aerobic process) เป็นกระบวนการอาศัยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนอิสระในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เหลือน้อยลงหรือมีค่าบีโอดีคณน้อยลง ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้อากาศ (aerobic bacteria) สามารถจำแนกได้เป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ก. กระบวนการนำสารอินทรีย์หรือสารอาหารเข้าไปในเซลล์ โดยจุลินทรีย์จะส่งเอนไซม์ (enzyme) ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มาเกาะติดที่ผนังเซลล์เพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสารโมเลกุลเล็กที่จะสามารถซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ได้



ภาพที่ 7 การกำจัดสารอินทรีย์ในชั้นฟิล์มชีวภาพ

ข. กระบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์จุลินทรีย์ เพื่อที่จะผลิตพลังงานไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ และการสร้างเซลล์ใหม่ โดยเขียนอยู่ในรูปของสมการโดยรวมได้ ดังนี้



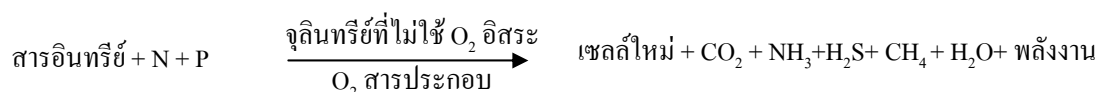
4.2.2 การบำบัดน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศ (anaerobic process) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์จะอาศัยสารประกอบอื่นเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนละลายน้ำหรือออกซิเจนอิสระ กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศหรือออกซิเจน สามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

ก. กระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) โดยเอนไซม์ (enzyme) ที่ถูกส่งออกมาจากเซลล์ เพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นสารโมเลกุลเล็ก พวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน จะถูกย่อยโดยกลุ่มของแบคทีเรียให้มีโมเลกุลและเล็กกลายน้ำได้ เช่น กลูโคส กรดอะมิโน กลีเซอรอล เป็นต้น ผลจากปฏิกิริยาการย่อยสลายนี้ได้ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งแอลกอฮอล์ ยกตัวอย่างเช่นในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน โปรตีนจะถูกย่อยสลายในกระบวนการพิวตริแฟกชัน (putrefaction) ให้เป็นกรดอะมิโน เอมีน แอมโมเนีย และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ปฏิกิริยานี้จึงทำให้ฟิเอดำ และแบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพความเป็นกรดจะทำหน้าที่ต่อไป

ข. กระบวนการสร้างกรด (acidogenesis) โดยแบคทีเรียสร้างกรดซึ่งจะเปลี่ยนผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในขั้นตอนที่ 1 ไปเป็นกรดไขมันระเหย (volatile fatty acid ; VFA)

ค. กระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหย (acetogenesis) โดยแบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจนิก (acetogenic bacteria) จะเปลี่ยนกรดไขมันระเหยไปเป็นผลผลิตสำคัญในการสร้างก๊าซมีเทน ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยในกระบวนการสร้างมีเทน (methanogenesis) ผลผลิตที่ได้จากแบคทีเรียสร้างกรดในขั้นตอนที่ 3 จะถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน (methanogenic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ชนิดแรก คือแบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน (hydrogenotrophic bacteria) โดยได้คาร์บอนมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ชนิดที่สอง คือ แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากกรดอะซิติก (acetotrophic bacteria) ซึ่งใช้อะซิเตตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน และใช้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน

การบำบัดน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการโดยรวมได้ ดังนี้



คุณภาพน้ำ

1. นิยามและความหมาย

คุณภาพน้ำ หมายถึง ความเหมาะสมของน้ำเพื่อใช้ในการกิจกรรมเฉพาะของมนุษย์ คุณภาพน้ำตามแหล่งน้ำธรรมชาติจะเปลี่ยนแปลงไปมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยของสภาพแวดล้อมเป็นสำคัญ ได้แก่ สภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ลักษณะทางธรณีวิทยา การใช้ประโยชน์ที่ดินหรือกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับน้ำ (เกษม, 2526)

คุณภาพน้ำ หมายถึง ความเหมาะสมของน้ำเพื่อใช้ในการกิจกรรมของมนุษย์เฉพาะกิจกรรมหรือเฉพาะกรณีไป ซึ่งคุณภาพน้ำตามแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปจะเปลี่ยนแปลงไปมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับฤดูกาลและสภาพแวดล้อมในแต่ละท้องถิ่นที่แตกต่างกัน เช่น สภาพภูมิประเทศ ลักษณะทางธรณีวิทยา การใช้ที่ดิน ตลอดจนกิจกรรมต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตที่เกี่ยวข้องกับน้ำ ดังนั้นคุณภาพน้ำจึงขึ้นอยู่กับภาวะการปนเปื้อนของสารมลพิษในน้ำ แหล่งของสารมลพิษอาจมาจากแหล่งต่างๆ หลายแหล่ง ทำให้น้ำมีการปนเปื้อนสารมลพิษได้มากมายและแตกต่างกันไป (ลัดดาวัลย์, 2541)

2. การวัดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

การวัดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ วิธีทางชีวภาพ (หาค่าบีโอดี) และวิธีทางเคมี (หาค่าซีโอดี) ขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ทำให้สารอินทรีย์สลายตัวเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

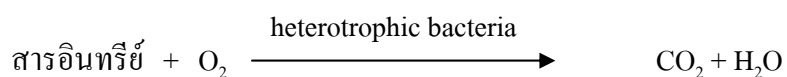
2.1 บีโอดี (biochemical oxygen demand; BOD)

บีโอดี คือ ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (กรรณิการ์, 2544) การหาปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งวัดในเทอมของความต้องการออกซิเจน โดยเท่ากับปริมาณของออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้เพื่อออกซิไดส์สารอินทรีย์ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (มันสิน, 2538)

บีโอดี หมายถึง ความสกปรกที่เกิดจากสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ โดยจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ในน้ำใช้สารอินทรีย์เหล่านี้เป็นอาหารและย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำนั้น ดังนั้นค่าความสกปรกจึงมีความสัมพันธ์กับปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (สุริยา และคณะ, 2544)

การวิเคราะห์ค่าบีโอดีของน้ำเสียนิยมหาในช่วง 5 วัน ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปเรียกว่าค่า BOD_5 ซึ่งค่าบีโอดีของน้ำเสีย จะขึ้นอยู่กับเวลาเป็นสิ่งสำคัญ ค่า BOD_5 จะนิยมใช้กันมากในการแสดงถึงระดับความสกปรกของน้ำเสียจากชุมชน ถ้าแหล่งน้ำนั้นมีค่าความสกปรกสูงแสดงว่า ในน้ำมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายอยู่มากและถูกแบคทีเรียทำการย่อยสลาย ซึ่งจะใช้ออกซิเจนเป็นจำนวนมากทำให้เกิดการขาดออกซิเจนได้ แต่ในความเป็นจริงเวลา 5 วันจะสามารถย่อยสารอินทรีย์ได้เพียงร้อยละ 60-70 โดยค่า BOD_5 จะคิดจากปริมาณออกซิเจนที่ถูกพวก heterotrophic

bacteria นำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (สุกัญญา, 2548) ดังสมการ



สารอินทรีย์ในน้ำเสียที่สามารถย่อยสลายได้มักใช้เวลาประมาณ 20-30 วัน ในการย่อยสลายสารจนเกือบหมด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 95-99 ดังนั้น ถ้าใช้เวลาถึง 20 วัน จะทำให้ทราบผลช้า และอาจเกิดความผิดพลาดของค่าที่วิเคราะห์ได้ เนื่องจากในน้ำเสียอาจมีแบคทีเรีย autotrophic พวก nitrifying bacteria ซึ่งจะใช้ออกซิเจนในการออกซิเดชันสารอินทรีย์ คือ แอมโมเนียเป็นไนไตรท์ และจากไนไตรท์เป็นไนเตรท ตามลำดับ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์มีค่าสูงกว่าที่ควรจะเป็น (สุกัญญา, 2548)

William (1995) กล่าวเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพว่า บีโอดีและสารอินทรีย์คาร์บอน จะถูกกำจัดออกโดยแบคทีเรียกลุ่ม heterotrophic bacteria ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของไบโอฟิล์ม เนื่องจากสามารถเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว กลุ่ม nitrifying bacteria จะเจริญได้ช้ากว่า เพราะเกาะอยู่ชั้นในของไบโอฟิล์ม

2.2 ซีโอดี (chemical oxygen demand; COD)

ซีโอดี เป็นปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำทางเคมีให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยหลักการที่สารอินทรีย์เกือบทั้งหมดสามารถที่จะถูกออกซิไดส์โดยตัวเดิมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด (กรรณิการ์, 2544)

โดยปกติแล้วค่าซีโอดีสูงกว่าค่าบีโอดี ทั้งนี้เนื่องจากสารอินทรีย์คาร์บอนถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยไม่ต้องอาศัยความสามารถในการดูดซึมทางชีวะ (biological assimilability) ของสารเหล่านั้น เช่น กลูโคสและกลีซีนจะถูกออกซิไดส์อย่างสมบูรณ์ ผลคือ ทำให้ค่าซีโอดีสูงกว่าค่าบีโอดี และจะสูงมากถ้ามีสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถถูกออกซิไดส์ทางชีวะอยู่ด้วย เช่น เซลลูโลส แต่ในบางกรณีถ้ามีพวก aromatic hydrocarbon และ pyridine ซึ่งไม่ถูกออกซิไดส์ทางเคมีค่าซีโอดีจะน้อยกว่าค่าบีโอดี

ค่าซีโอดีที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสียน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม ใช้บอกถึงกำลังความสกปรกของน้ำเสียในการประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำเสียเป็นข้อมูลในการสำรวจออกแบบระบบน้ำเสีย ตลอดจนใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากผลที่ได้ใช้เวลาไม่กี่ชั่วโมงในการหาจึงสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดได้ทันท่วงที (กรรณิการ์, 2544)

3. คุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยฝายหินเรียง

3.1 อุณหภูมิ (Temperature)

Reid (1961) and Ruttner (1973) ได้รายงานว่า อุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติ ในแหล่งน้ำจะผันแปรตามอุณหภูมิของอากาศ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเส้นรุ้ง ระดับความสูง ฤดูกาล และสภาพภูมิอากาศ ซึ่ง Mc Griff (1972) กล่าวว่า การสร้างเมืองหรือชุมชนก็มีผลกระทบต่ออุณหภูมิของน้ำในแม่น้ำได้เช่นกัน ไมตรี และจารุวรรณ (2528) กล่าวว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะมีอัตราผกผัน หรือตรงกันข้ามกับอุณหภูมิ น้ำคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะลดลง

Hammer (1986) กล่าวว่า อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เช่น ในบ่อเติมอากาศ (aerated lagoons) ที่ใช้ย่อยสลายน้ำเสียจากชุมชน ในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สามารถลดค่าบีโอดีได้ถึงร้อยละ 85 แต่ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถลดค่าบีโอดีได้เพียงร้อยละ 65 เท่านั้น

3.2 ความเป็นกรดเป็นด่าง (positive potential of the hydrogen ions; pH)

การวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ เป็นการวัดปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (hydrogen ion concentration) ที่มีอยู่ในน้ำ ณ เวลานั้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0-14 ซึ่งถ้ามีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7 แสดงว่าเป็นกลาง น้อยกว่า 7 มีสภาพเป็นกรด และสูงกว่า 7 แสดงว่าน้ำมีสภาพเป็นด่าง โดยกองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2534) ได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากชุมชนให้มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 5.0-9.0

สำหรับระบบบำบัดแบบไร้อากาศ พี่เขามีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 6.8-7.2 เท่านั้น (มันสิน และมันรักษ์, 2545)

3.3 การนำไฟฟ้า (electrical conductivity; EC)

การนำไฟฟ้าเป็นการวัดความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน น้ำที่มีไอออนของสารต่างๆ อยู่สามารถนำไฟฟ้าได้ ในสนามไฟฟ้ากระแสไอออนบวกจะเคลื่อนที่ไปที่อิเล็กโทรดขั้วลบ และไอออนลบจะเคลื่อนที่ไปที่อิเล็กโทรดขั้วบวก กรดเบส และเกลืออนินทรีย์ เช่น HCl, Na_2CO_3 และ NaCl เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เพราะแตกตัวให้อิออนบวกและลบ ในทางตรงกันข้าม โมเลกุลของสารอินทรีย์ เช่น ซูโครสและเบนซิน ไม่แตกตัวในน้ำจึงไม่นำไฟฟ้า (มันสิน, 2538) ซึ่งค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายจะบ่งชี้ถึงความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ อย่างเช่นถ้าค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเพิ่มขึ้นแสดงว่าปริมาณอนินทรีย์สารที่ละลายอยู่ในน้ำสูงขึ้นเป็นต้น (สุริ, 2521) ซึ่งการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของแข็งละลายได้ (พิมล และชัยวัฒน์, 2525)

3.4 ออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO)

ออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ทั้งที่อาศัยอยู่บนพื้นดินและในน้ำ สิ่งมีชีวิตในน้ำได้รับออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของพืช และการแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่พื้นน้ำ (มันสิน, 2538) สำหรับการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ต้องใช้ออกซิเจน (aerobic microorganisms) ดังนั้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนจึงต้องมีการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ซึ่งจะบ่งชี้ถึงสภาพและประสิทธิภาพของระบบด้วย ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนนี้ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียในบางกรณีอาจจะควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำให้ต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตรก็ได้ ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณเชื้อราซึ่งเป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ต้องการในบ่อเติมอากาศ (สันทัด, 2549)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ กล่าวคือ ออกซิเจนเป็นตัวกำหนดปฏิกิริยาในการบำบัดน้ำเสียไม่ว่าจะเป็นระบบบำบัดแบบใช้อากาศหรือไม่ใช้อากาศ โดยจะมีผลต่อพืช สัตว์น้ำ และจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิต ซึ่งมีผลต่อระบบบำบัดทางชีววิทยา ซึ่งโกมล และคณะ (2527) กล่าวว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีความสัมพันธ์กับความสกปรกของน้ำอีกด้วย กล่าวคือ ถ้าน้ำสกปรกมาก ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำก็ถูกใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์มากด้วย และถ้าน้ำสกปรกมีจุลินทรีย์อยู่มาก จุลินทรีย์เหล่านี้จะใช้ ออกซิเจนในการดำรงชีวิตมาก ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลงไปด้วย ซึ่งปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสามารถใช้เป็นเครื่องชี้บ่งสภาพน้ำได้ โดยระดับออกซิเจนละลายน้ำในปฏิกิริยาชีวภาพต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วมีระดับความต้องการออกซิเจนละลายน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับออกซิเจนละลายน้ำของปฏิกิริยาชีวภาพ

ประเภทของปฏิกิริยา	ระดับออกซิเจนละลาย
แอโรบิก	อย่างต่ำ 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร
ดีไนตริฟิเคชัน	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซัลเฟตรีดักชัน	0-1 มิลลิกรัมต่อลิตร
คาร์บอนไดออกไซด์รีดักชัน (สร้างมีเทน)	ต้องไม่มีดีโอ

ที่มา: มั่นสิน และมรรักษ์ (2545)

ไมตรี และจารุวรรณ (2528); เปี่ยมศักดิ์ (2539) และสันทนต์ (2549) กล่าวไปในแนวทางเดียวกันว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำได้สูงขึ้นเมื่อความดันอากาศเพิ่มขึ้น และจะละลายได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หรือมีความเข้มข้นของเกลือแร่ (ความเค็ม) ในน้ำสูง

3.5 ปริมาณของแข็ง (Solids)

ปริมาณของแข็ง หมายถึง สิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำเสียที่ยังคงเหลืออยู่หลังจากระเหยเอาน้ำออกจนหมด สิ่งที่เหลืออยู่ภายหลังจากระเหยน้ำออกไปจะมีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งอาจจะละลายน้ำได้หรือไม่ละลายน้ำก็ได้ (สันทนต์, 2549)

เสริมพล และไชยยุทธ (2525) และมันสิน (2538) ได้อธิบายว่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids) เป็นสิ่งที่เหลืออยู่ภายหลังการระเหยน้ำออกจนหมดและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส total solids นี้แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการละลายคือ

3.5.1 dissolved solids หมายถึง ส่วนที่ละลายได้ในน้ำ ส่วนมาก ได้แก่ เกลืออนินทรีย์ เช่น NaCl , Na_2CO_3 และสารอินทรีย์บางอย่าง เช่น น้ำตาล

3.5.2 insoluble solids หมายถึง ส่วนที่ไม่ละลายในน้ำแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามขนาดของชิ้นส่วนที่ไม่ละลายคือ 1) suspended solids หมายถึง ส่วนที่ไม่ละลายในน้ำแต่มีขนาดเล็กพอที่จะแขวนลอย (suspend) อยู่ในน้ำได้ หาได้โดยการกรองตัวอย่างน้ำด้วยกระดาษกรองชนิดพิเศษ เรียกว่า glass fibre paper (whatman GF/C) แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นบนกระดาษกรอง 2) settleable solids หมายถึง ตะกอนขนาดใหญ่และหนักสามารถตกมารวมกันยังส่วนล่างได้ หาได้โดยการนำตัวอย่างน้ำมาใส่ในภาชนะพิเศษ เรียกว่า imhoff cone

ลักษณะพื้นที่ศึกษา

1. ที่ตั้งและประชากร

เทศบาลตำบลห้วยยอด ตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ $7^{\circ}60' \text{ N}$ และลองจิจูด $99^{\circ}38' \text{ E}$ มีพื้นที่ 6.11 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 3,818.75 ไร่ เป็นหน่วยงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นรูปแบบหนึ่ง ครอบคลุมตำบลห้วยยอด และตำบลเขาปูนบางส่วน อยู่ในเขตการปกครองของอำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง ตั้งอยู่ทางทิศเหนือของจังหวัดตรังห่างจากตัวจังหวัดประมาณ 28 กิโลเมตร มีอาณาเขตติดต่อกับตำบลต่างๆ ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับตำบลเขาขาว
ทิศใต้	ติดต่อกับตำบลปากคม และตำบลปากแจ่ม
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับตำบลเขาปูน
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับตำบลปากคม

2. การคมนาคมและขนส่ง

การคมนาคมและขนส่งระหว่างเทศบาลกับพื้นที่อื่น มีความสะดวกพอสมควรสามารถใช้เส้นทางได้ 2 เส้นทาง คือ

2.1 เส้นทางรถไฟ สถานีรถไฟห้วยยอดอยู่ห่างจากกรุงเทพมหานคร ตามเส้นทางรถไฟสายใต้ แล้วแยกที่ชุมทางทุ่งสงถึงสถานีห้วยยอด รวมระยะทางประมาณ 815 กิโลเมตร และต่อไปยังสถานีตรังจนไปสิ้นสุดที่สถานีกันตัง ขบวนรถไฟที่วิ่งผ่านสถานีห้วยยอดมี 2 ขบวน คือ ขบวนรถเร็วจากกันตัง-กรุงเทพฯ และขบวนรถด่วนจาก ตรัง-กรุงเทพฯ ฯ ทั้งไปและกลับทุกวัน

2.2 เส้นทางรถยนต์ ที่สำคัญ คือ

2.2.1 ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 4 (ถนนเพชรเกษม) ตามเส้นทางนี้จะห่างจากกรุงเทพมหานครประมาณ 910 กิโลเมตร และห่างจากอำเภอเมือง จังหวัดตรังประมาณ 28 กิโลเมตร

2.2.2 ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 403 (อำเภอทุ่งสง-แยกทางไปจังหวัดกระบี่) เป็นเส้นทางแยกจากทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 4 เชื่อมระหว่างอำเภอห้วยยอดกับอำเภอทุ่งสง ระยะทางประมาณ 44 กิโลเมตร เป็นอีกเส้นทางหนึ่งสามารถใช้เดินทางไปสู่กรุงเทพมหานครได้ มีระยะทางประมาณ 840 กิโลเมตร

2.2.3 ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 4123 (ในเขตเทศบาลใช้ชื่อถนนเทศบาล 2) เป็นเส้นทางที่เชื่อมระหว่างห้วยยอดกับตัวเมืองตรัง ระยะทางประมาณ 34 กิโลเมตร

2.2.4 สำหรับการคมนาคมและขนส่งภายในชุมชนของเทศบาลตำบลห้วยยอด มีถนนจำนวน 36 สาย รวมความยาวทั้งสิ้นประมาณ 24.53 กิโลเมตร มีถนนสายหลักของชุมชนคือ ถนนทางหลวงหมายเลข 4 ถนนเทศบาล ทำหน้าที่กระจายปริมาณการจราจรสู่ถนนสายรอง ได้แก่ ถนนเทศบาล ถนนนามสมมิตร ถนนมหามิตร และถนนกัลปาศาสตร์ ซึ่งทำหน้าที่กระจายปริมาณการจราจรสู่พื้นที่ส่วนต่างๆ ของชุมชนโดยรอบ ส่วนใหญ่มีผิวจราจรได้มาตรฐานเป็นคอนกรีตและแอสฟัลท์

3. ลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศ

สภาพพื้นที่ภายในเขตเทศบาลส่วนใหญ่เป็นเนินเขาสูงๆ ต่ำๆ มีที่ราบน้อยมีลำคลองเล็กๆ ไหลผ่านตัวเมือง คลองที่สำคัญ ได้แก่ คลองห้วยยอด และคลองห้วยแห้ง เป็นต้น สำหรับฤดูกาลของเทศบาลตำบลห้วยยอดสามารถแบ่งตามลักษณะอากาศของประเทศไทยเป็น 3 ฤดู คือ

3.1 ฤดูแล้ง เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม ระยะเวลานี้เป็นช่วงว่างของฤดูมรสุม หลังจากสิ้นฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือหรือฤดูหนาวแล้ว อากาศจะเริ่มร้อน และร้อนจัดที่สุดในเดือนมีนาคม และเมษายน

3.2 ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม เป็นช่วงที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นลมร้อนและชื้นจากมหาสมุทรอินเดียพัดปกคลุมประเทศไทย ทำให้มีฝนทั่วไปและในช่วงฤดูฝน ยังมีร่องความกดอากาศต่ำปกคลุมภาคใต้เป็นระยะๆ จึงทำให้มีฝนตกมาก ซึ่งฝนจะตกหนักช่วงเดือนกันยายน

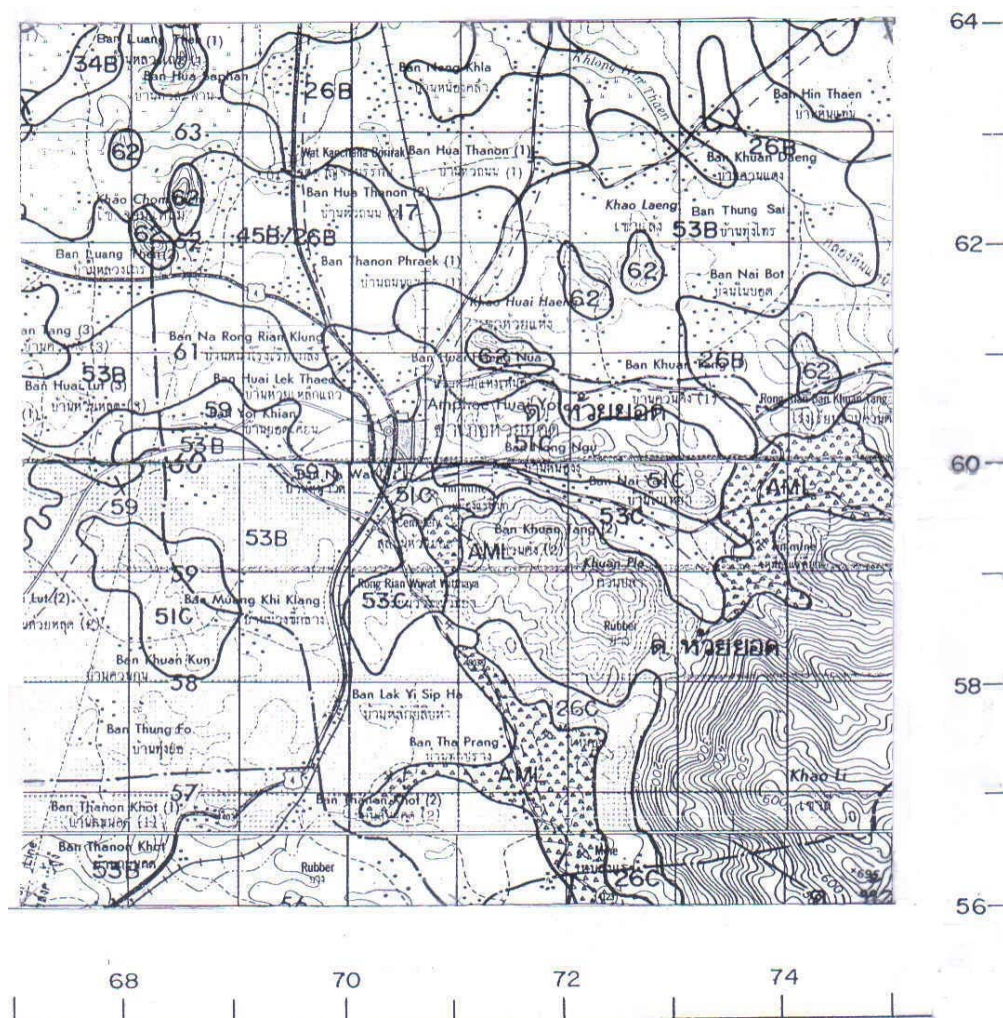
3.3 ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม จนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้อุณหภูมิลดลงทั่วไป และมีอากาศหนาวเย็น แต่ไม่ค่อยจะหนาวเย็นมากนัก และมักจะมีฝนตกทั่วไป

ข้อมูลอื่นๆ อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์อบอุ่นระหว่าง 19–38 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 151.08 มิลลิเมตร และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย 80.77

4. ลักษณะพื้นที่และกลุ่มดิน

พื้นที่ของเทศบาลตำบลห้วยยอดตั้งอยู่ใกล้กับพื้นที่ราบเชิงเขาที่มีความลาดชันอยู่ในช่วงร้อยละ 5–12 มีลักษณะของดินส่วนใหญ่ที่พบเป็นกลุ่มดินชุดที่ 51 หน่วยที่ดินนี้เป็นกลุ่มชุดดิน ที่มีเนื้อดินเป็นพวกดินร่วนปนเศษหิน พบในเขตฝนตกชุก เช่น ภาคใต้ เศษหินส่วนใหญ่เป็นพวกเศษหินทรายและควอร์ต หรือหินดินดาน สีดินเป็นสีน้ำตาล สีเหลืองหรือสีแดง พบทั่วไป ในบริเวณที่ลาดเชิงเขาหรือเนินเขาต่างๆ เป็นดินชั้นมาก มีการระบายน้ำดี มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดแก่ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 5.0-5.5 ปัจจุบันบริเวณดังกล่าวเป็นป่า

ดิบชื้น และกลุ่มชุดดินที่ 53 หน่วยที่ดินเป็นกลุ่มชุดดินที่มีเนื้อดินปน เป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนดินเหนียว ส่วนดินล่างในระดับความลึกระหว่าง 50-100 เซนติเมตร เป็นดินลูกรังหรือดินปนเศษหินผุ ซึ่งเป็นพวกหินดินดานพบในเขตฝนตกชุกเช่น ภาคใต้ ลักษณะพื้นที่เป็นลูกคลื่นหรือเนินเขา ดินมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติค่อนข้างต่ำ ปฏิกิริยาดินเป็นกรดแก่ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ประมาณ 5.0-5.5 โดยชุดดินทั้ง 2 ชุดเหมาะแก่การปลูกยางพารา ซึ่งในบริเวณนี้จะมีการปลูกยางพาราเป็นส่วนใหญ่ (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 กลุ่มชุดดินที่พบบริเวณพื้นที่ตำบลห้วยยอด

ที่มา: กองสำรวจ และจำแนกดิน (2536)

5. การใช้ประโยชน์ที่ดิน

สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตเทศบาลตำบลห้วยยอดส่วนใหญ่เป็นที่ดินว่างเปล่า รองลงมาคือที่อยู่อาศัยทั้งที่พักอาศัยอย่างเดี่ยวและกึ่งพาณิชย์ ซึ่งส่วนมากจะตั้งอยู่ตามแนวสองฝั่งถนนเพชรเกษม และสำหรับอุตสาหกรรมซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ รวมทั้งขนาดพื้นที่ในการดำเนินการ แสดงได้ตามตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตเทศบาลตำบลห้วยยอด

ประเภทที่ดิน	ขนาดพื้นที่ (ไร่)
1. พื้นที่ว่าง	3,618.12
2. ที่พักอาศัย	128.54
3. ที่พักอาศัยกึ่งพาณิชย์	21.38
4. อุตสาหกรรม	14.68
5. พาณิชยกรรม	9.08
6. โกดัง	8.54
7. สถาบันทางการศึกษา	7.16
8. สถาบันทางศาสนา	4.61
9. ส่วนราชการ	2.28
10. คอกปศุสัตว์	2.19
11. นันทนาการ	0.14
12. ชุมสายโทรศัพท์	0.16
13. การรถไฟ	0.19
14. บรรเทาสาธารณภัย (ดับเพลิง)	0.22
15. สำนักงานและสถานีขนส่ง	0.24
16. ตลาดสด	0.35
17. การประปา	0.48
18. การไฟฟ้า	0.04
รวม	3,818.75

ที่มา: เทศบาลตำบลห้วยยอด (2551)

6. ด้านสังคม

ประชากรในเขตเทศบาลตำบลห้วยยอด ตามสถิติทะเบียนราษฎรเดือนกันยายน 2549 มีทั้งสิ้น 9,856 คน แบ่งเป็นประชากรชาย 4,764 คน ประชากรหญิง 5,092 คน จำนวนหลังคาเรือนทั้งหมดในเขตพื้นที่รับผิดชอบ 3,498 หลัง ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ย 1,598 คนต่อตารางกิโลเมตร โดยชุมชนในเขตเทศบาลมีทั้งสิ้น 8 ชุมชน คือ ชุมชนหน้าวัดห้วยยอด ชุมชนหลังวัดห้วยยอด ชุมชนถนนแพรก ชุมชนวัฒนา ชุมชนตาชี ชุมชนควนหนังจำ ชุมชนควนอุ และชุมชนตลาดห้วยยอด โดยกิจกรรมของชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอดนั้นมีหลายรูปแบบเช่น บ้านเรือน ตลาดสด ร้านค้า ร้านเสริมสวย อยู่ซ่อมรถ สถานพยาบาลต่างๆ โรงงานผลิตขนมจีน การคมนาคมขนส่ง โรงพิมพ์ และร้านถ่ายเอกสาร เป็นต้น ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้มีผลทำให้เกิดน้ำเสียทั้งสิ้น

การบริการด้านสาธารณสุขในเขตเทศบาลตำบลห้วยยอดเป็นปัจจัยหนึ่งทางด้านสังคมที่มีความจำเป็นในชุมชน ซึ่งเทศบาลตำบลห้วยยอดมีหน่วยงานที่ให้บริการด้านสาธารณสุขดังนี้

6.1 โรงพยาบาลเอกชนห้วยยอด ขนาด 10 เตียง 1 แห่ง จำนวนผู้ป่วยเฉลี่ย 16 รายต่อวัน บุคลากรทางการแพทย์มีแพทย์ 1 คน พยาบาล 4 คน ผู้ช่วยพยาบาล 8 คน

6.2 ศูนย์สุขภาพชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอด โดยโรงพยาบาลห้วยยอดร่วมกับเทศบาลตำบลห้วยยอด จัดขึ้นเป็นสถานที่ให้บริการ รักษาพยาบาลเบื้องต้น การรักษาโรคและฉีดวัคซีนป้องกันโรคที่สามารถใช้ยาประจำบ้านได้ มีพยาบาลวิชาชีพ 4 คน พยาบาลเทคนิค 1 คน เจ้าหน้าที่งานสาธารณสุขชุมชน 2 คน เจ้าหน้าที่งานทันตภิบาล 1 คน อาสาสมัครสาธารณสุข (อสม.) 53 คน มีผู้ใช้บริการเฉลี่ยเดือนละ 1,500 ราย และมีคลินิกเอกชนอีก 5 แห่งที่ดำเนินการในเทศบาลตำบลห้วยยอด

7. ด้านการเมืองการบริหาร

เทศบาลตำบลห้วยยอดได้แบ่งการบริหารขององค์กรเป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ

7.1 สภาเทศบาล มีหน้าที่ควบคุมการบริหารงานของนายกเทศมนตรี ประกอบด้วยสมาชิกสภาเทศบาล จำนวน 12 คน

7.2 ผู้บริหารท้องถิ่น มีหน้าที่ควบคุมและรับผิดชอบในการบริหารกิจการของเทศบาลตามกฎหมาย ประกอบด้วย นายกเทศมนตรีซึ่งผู้ว่าราชการจังหวัดแต่งตั้ง และรองนายกเทศมนตรีอีก 2 คน ซึ่งนายกเทศมนตรีเป็นผู้แต่งตั้ง โดยในส่วนการบริหารของเทศบาลตำบลห้วยยอด ประกอบด้วยหน่วยงานทั้งหมด 7 หน่วยงาน คือ สำนักปลัดเทศบาล กองวิชาการและแผนงาน กองการศึกษา กองคลัง กองช่าง กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม และกองสวัสดิการสังคม

8. ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

8.1 ทางน้ำสาธารณะ

ทางน้ำสาธารณะของเทศบาลตำบลห้วยยอด เป็นทางน้ำที่รองรับน้ำจากธรรมชาติและน้ำเสียรวมกัน ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศที่เป็นเนินสูงอยู่กลางเมือง มีลำคลองและลำธารสาธารณะเล็กๆ ไหลผ่านตัวเมืองซึ่งส่วนหนึ่งเป็นแหล่งน้ำที่รองรับน้ำเสียจากชุมชนด้วย ซึ่งจะมีลำห้วยต่างๆ ดังนี้

8.1.1 คลองห้วยยอด มีความยาว 3,100 เมตร เป็นลำธารที่มีต้นกำเนิดมาจากน้ำตกโดนคลาน ซึ่งตกมาจากเขา หรือควนในเขา สายน้ำนี้ไหลผ่านตัวเมืองห้วยยอด และไหลไปลงแม่น้ำตรังที่ตำบลปากคม ปัจจุบันมีสภาพตื้นเขิน ขาดน้ำในช่วงฤดูแล้ง

8.1.2 คลองห้วยแห้ง มีความยาว 3,400 เมตร เป็นลำธารที่มีต้นกำเนิดมาจากเขาห้วยแห้ง ไหลผ่านตัวเมืองด้านทิศเหนือ สภาพคลองปัจจุบันตื้นเขิน และขาดน้ำในช่วงฤดูแล้งเช่นกัน

8.1.3 ห้วยหลักแก้วหรือปลัดแก้ว มีความยาว 1,312 เมตร เป็นลำธารเล็กๆ ที่ไหลมาจากภูเขาบริเวณหมู่บ้านป่าจิ้ทรายไหลอยู่ทางทิศใต้และทิศตะวันตกของที่ว่าการอำเภอห้วยยอด ปัจจุบันมีสภาพตื้นเขินและยังเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียหลักของเทศบาลตำบลห้วยยอด

8.1.4 ห้วยไสถั่ว มีความยาว 1,553 เมตร เป็นลำธารเล็กที่ไหลอยู่รอบข้างของเทศบาลตำบลห้วยยอดซึ่งก็จะได้รับการปนเปื้อนของน้ำเสียด้วยเล็กน้อย

8.2 การระบายน้ำ

ระบบระบายน้ำของเมืองเป็นท่อระบายน้ำ คสล.(คอนกรีตเสริมเหล็ก) และท่อเหลี่ยม คสล. โดยท่อระบายน้ำ คสล. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8-1.0 เมตร มีจำนวน 5 สาย มีความยาวรวม 2,340 เมตร ส่วนท่อเหลี่ยม คสล. มีความกว้างท่อ 0.5-0.7 เมตร มีความยาวรวม 12,843 เมตร เป็นระบบรวมของน้ำทั้งจากอาคารบ้านเรือนและน้ำฝนลงสู่ราง หรือคูระบายน้ำสาธารณะและถูกปล่อยทิ้งลงสู่ทางน้ำสาธารณะ ซึ่งได้แก่ คลองห้วยยอด คลองห้วยแห้ง และห้วยหลักแก้ว ซึ่งระบบน้ำทิ้งเหล่านี้ มิได้ผ่านการบำบัดน้ำเสียก่อน ซึ่งจากการปล่อยน้ำเสียของชุมชน โดยไม่มีการบำบัด ทำให้คูคลองดังกล่าวเริ่มเน่าเสีย มีกลิ่น และน้ำมีสีดำคล้ำ ซึ่งเป็นปัญหาที่เทศบาลตำบลห้วยยอดจะต้องหามาตรการเพื่อดำเนินการแก้ไขต่อไป

ผลการสำรวจกิจกรรมที่ก่อให้เกิดน้ำเสียตลอดลำห้วยปลัดแก้ว ซึ่งได้ข้อมูลจากสำนักทะเบียนท้องถิ่นเทศบาลตำบลห้วยยอดพบว่าจำนวนครัวเรือนและร้านค้าที่ปล่อยน้ำเสียลงสู่ห้วยปลัดแก้วมีจำนวน 566 หลังคาเรือน และสถานที่ราชการจำนวน 6 แห่ง ร้านเสริมสวยและร้านตัดผม 6 แห่ง โรงพิมพ์และร้านถ่ายเอกสาร 5 แห่ง ร้านซ่อมรถมอเตอร์ไซด์ 3 แห่ง ร้านเชิ่อมเหล็ก 1 แห่ง ร้านคาร์แคร์ 1 แห่ง ตลาดสด 1 แห่ง สถานพยาบาลและคลินิก 3 แห่ง โรงงานผลิตขนมจีนขนาด 50 กระจาดต่อวัน 1 แห่ง เป็นต้น (เทศบาลตำบลห้วยยอด, 2551)

8.3 แหล่งทรัพยากรแร่

เทศบาลตำบลห้วยยอดเป็นแหล่งแร่ดีบุกสำคัญของจังหวัดตรัง ซึ่งในอดีตได้มีการทำเหมืองแร่ดีบุกในพื้นที่บริเวณเทือกเขาบรรทัดที่อยู่ในตำบลห้วยยอด โดยเมื่อครั้งสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว เสด็จประพาสเมืองตรัง ปรากฏว่ามีกรรมกรจีนจำนวนมากจากเกาะปีนัง เข้ามาทำเหมืองแร่ดีบุก ที่บ้านท่ามะปราง ทำให้ชุมชนบริเวณนั้นเจริญมากขึ้น และเกิดตลาดแห่งแรกที่บ้านท่ามะปราง ต่อมาเมื่อเรือขุดแร่ของฝรั่งมาทำการขุดแร่แถวหน้าวัดห้วยยอด จึงทำให้ชุมชนบริเวณอำเภอห้วยยอดเจริญขึ้น ตั้งแต่นั้นมาพื้นฐานเศรษฐกิจของอำเภอห้วยยอดก็มาจากการทำเหมืองแร่ดีบุก แสดงไว้ในภาพที่ 9

สำหรับหินที่เป็นต้นกำเนิดแร่ดีบุกคือหินแกรนิต จึงมักพบแหล่งแร่ตามแนวเทือกหินชนิดนี้ ซึ่งบริเวณเทศบาลตำบลห้วยยอดจะพบหินแกรนิตมากกว่าหินปูน โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฝายหินเรียงทั่วๆ ไปมีประโยชน์ในหลายๆ ด้าน เช่น เพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ เพื่อการชะลอการไหลของน้ำ เพื่อการดักตะกอนดินและลดการชะล้างดิน เพื่อการขังน้ำสร้างความชุ่มชื้น และเพื่อกักเก็บน้ำ ใช้ในการผันน้ำเข้าสู่พื้นที่ไร่นา หรือกักเก็บน้ำเพื่อการใช้ประโยชน์อื่นสำหรับฝายหินเรียงที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย มีรายงานที่กล่าวถึงคุณสมบัติของฝายหินเรียงในการบำบัดน้ำเสียไว้ดังนี้

จากรายงานของ Jodi *et al.* (2003) ในการทดลองสร้าง check dams ด้วยหินแม่น้ำบริเวณร่องคูของถนน Otsego Minnesota ที่ความชัน 1 เปอร์เซ็นต์ ระยะระหว่างฝาย 2.4 เมตร โดยพบว่าก่อนสร้าง check dams สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ออกซิเจนละลาย และของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 22 42 และ 48 ตามลำดับ ภายหลังการสร้าง check dams พบว่ามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 54 47 และ 52 ตามลำดับ

จากรายงานของ Office of Water (1999) กล่าวว่า สามารถสร้างฝายหินเรียงในรางรับน้ำได้ โดยจะช่วยเพิ่มการกักเก็บและลดความเร็วของน้ำ แต่ไม่แนะนำให้ใช้หินในการทำฝาย เพราะอาจจะเกิดการกัดเซาะได้ ควรที่จะสร้างฝายทุกๆ 17 เมตร ถ้าความชันของพื้นที่ตามยาวมากกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งรางรับน้ำที่ออกแบบมาสามารถช่วยลดปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณออกซิเจนละลาย ในตรพ และฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ร้อยละ 81 67 38 และ 9 ตามลำดับ โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของรางรับน้ำได้ด้วยการสร้างฝายทุกๆ 17 เมตร ตลอดความยาว แต่ควรมีโครงสร้างที่สามารถรองรับออกได้

การศึกษาของ Watanabe *et al.* (1994) ศึกษาสัณฐานของถังกรองชีวภาพแบบไหลย้อนกลับขึ้น (up-flow aerated biofilter; UAB) ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่า เกิดชั้นฟิล์มจุลินทรีย์บนวัสดุกรองได้ดี เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวระบบมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดบีโอดี และมีค่าของแข็งแขวนลอยค่อนข้างคงตัว เมื่ออัตราการเติมอากาศต่ำสามารถเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันได้และระบบสามารถเกิดกระบวนการนี้คงตัวได้เวลาที่กักเก็บน้ำ 10 ชั่วโมง มีอัตราการภาระปริมาณน้ำ (Hydraulic loading) 86 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยมีอัตราการเติมอากาศต่อน้ำเสีย (A/W) เท่ากับ 2 ซึ่งน้อยกว่าระบบตะกอนเร่งปกติ จากการเติมตัวกลาง stainless meshes สามารถลดระยะเวลาการกักเก็บและอัตราการเติมอากาศลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเร่งปกติ

Wanner *et al.* (1998) ได้ทดลองใช้ระบบฟิล์มชีวภาพเข้าเสริมในระบบตะกอนเร่ง เพื่อดูผลการเกิดจุลินทรีย์ประเภทเส้นใย (filamentous microorganisms) ของระบบตะกอนเร่งและเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน โดยทดลองเติมตัวกลางพลาสติกลงในระบบตะกอนเร่ง โดยพบว่า ในขณะที่ระบบตะกอนเร่งเกิดจุลินทรีย์ชนิดเส้นใย ระบบตะกอนเร่งที่เพิ่มตัวกลางต่างๆ ตะกอนสามารถตกได้ดี โดยพบว่ายังจุลินทรีย์ยึดเกาะกับตัวกลางมากขึ้นเท่าใดค่า SVI ก็จะลดลงมากขึ้นเท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่าการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในระบบตะกอนเร่งที่มีตัวกลางจะไม่ขึ้นกับค่าอายุตะกอนของระบบตะกอนเร่งเดิม เนื่องจากพบว่ามี nitrifying bacteria เป็นจุลินทรีย์ชนิดเด่นที่ยึดเกาะติดกับตัวกลาง

Helmer and Kunst (1998) ศึกษาการเพิ่มหรือกระตุ้นปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน/ดีไนตริฟิเคชัน ในระบบฟิล์มชีวภาพแบบใช้อากาศของแผ่นหมุนชีวภาพ (RBC) พบว่าไนโตรเจนที่หายไปไม่ได้เกิดจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ในกลุ่มจุลินทรีย์พวกแอนอกซิก (anoxic microzone) แต่เกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน/ดีไนตริฟิเคชันที่มีออกซิเจน โดยไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่มีออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 1 โดยกลุ่มจุลินทรีย์พวก heterotrophs พวก nitrify anrobe และ denitrify aerobe เช่น *Thiosphaera pantotrophica* หรือ *Nitrosomonas* sp. ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะกระตุ้นให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันในแผ่นฟิล์มชีวภาพ

วันชัย (2539) ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของถังกรองไร้อากาศ (anaerobic Filter) ที่มีตัวกลางเป็นหิน เศษคอนกรีต และพลาสติก บำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 121 ชั่วโมง ถังที่มีตัวกลางพลาสติกให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด 93.2 เปอร์เซ็นต์ และตัวกลางพลาสติกมีความสามารถในการกักเซลล์จุลินทรีย์ไว้ในระบบ และเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ได้ดีกว่า เนื่องจากมีความพรุนที่สูงสุดเท่ากับ 94.38 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าหินและเศษคอนกรีตที่ใช้เป็นตัวกลางที่มีความพรุนเท่ากับ 43.36 เปอร์เซ็นต์ และ 53.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สมศรี (2543) ศึกษาการกรองน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงจากโรงฟอกหนังมาทำการบำบัดขั้นต้นด้วยสารส้มเปรียบเทียบสารกรองขนาด 0.42-0.60 มิลลิเมตร และ 1.40-1.70 มิลลิเมตร ที่อัตราการกรอง 2 และ 4 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง พบว่าสารกรองขนาด 0.42-0.60 มิลลิเมตร มีอัตราการกรองที่เหมาะสม 2 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง สารกรองขนาดเล็กจะกำจัดความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมได้มากกว่าสารกรองขนาดใหญ่ และที่ขนาดเท่ากันการกรองด้วยอัตราการกรองต่ำจะสามารถกำจัดความขุ่น ซีโอดี และโครเมียมได้ดีกว่าอัตราการกรองสูง สำหรับการกรองน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำโดยใช้สารกรอง 3 ขนาด คือ 0.42-0.60 มิลลิเมตร 1.00-1.40 มิลลิเมตร และ 1.40-1.70 มิลลิเมตร ที่อัตรา

กรอง 2 4 และ 8 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง พบว่าขนาดสารกรองที่เหมาะสมในการกรอง คือ 0.42-0.60 มิลลิเมตร และอัตรากรองที่เหมาะสม คือ 2 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ปริมาณน้ำที่กรองได้ ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร อายุการใช้งานของสารกรองทั้งสามขนาดที่อัตรากรอง 2 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงคือ 48 ชั่วโมง

ปัญหาการตกทับถมของตะกอนบริเวณทางด้านหน้าฝายเป็นปัญหาหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพของฝายที่ใช้งานลดลง ทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหา คือ ทำให้ตัวฝายมีประสิทธิภาพในการระบายตะกอนเพิ่มขึ้น รายงานฉบับนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการไหลของน้ำและตะกอนผ่านฝายสันกว้างรูปสี่เหลี่ยมและรูปตัววีที่มีและไม่มีควมลาดชันด้านหน้าฝาย โดยมีความกว้างสันฝายเท่ากับ 20 เซนติเมตร ความสูงฝาย 15 20 และ 25 เซนติเมตร ความยาวฝาย 50 เซนติเมตร ซึ่งเท่ากับความกว้างของรางน้ำ อัตราการไหลอยู่ในช่วงระหว่าง 10 ถึง 45 ลิตรต่อวินาที โดยทำการทดลองการไหลของน้ำแบบอิสระ (free flow) ผ่านฝาย ผลการทดลองพบว่าอัตราการไหลแปรผันตามความสูงของน้ำเหนือสันฝาย โดยที่อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสันกว้างรูปสี่เหลี่ยมจะมากกว่ารูปตัววีที่ความสูงของน้ำเหนือสันฝายเท่ากัน และอัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความลาดชันด้านหน้าฝาย โดยเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 ส่วนอัตราการไหลของตะกอนผ่านฝายจะแปรผันตามอัตราการไหลของน้ำ โดยอัตราการไหลของตะกอนผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมมากกว่าฝายรูปตัววีที่ความสูงของน้ำเหนือสันฝายเท่ากัน และที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากันอัตราการไหลของตะกอนผ่านฝายรูปตัววีมากกว่ารูปสี่เหลี่ยม ส่วนฝายที่มีความลาดชันด้านหน้าฝายสามารถระบายตะกอนได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับฝายที่ไม่มีควมลาดชันด้านหน้าฝาย (พงศักดิ์, 2546)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในภาคสนาม

1.1 อุปกรณ์สำหรับการก่อสร้างฝาย

1.1.1 ไม้ค้ำขยะ สำหรับค้ำเศษขยะขนาดใหญ่

1.1.2 ตะแกรงขนาดตา 1x1 นิ้ว สำหรับค้ำขยะ

1.1.3 หินที่มีอยู่ในพื้นที่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12-20 เซนติเมตร (ภาพผนวกที่ ก1)
จากการนำหินที่ใช้ก่อสร้างฝายตรวจสอบสมบัติแร่ทางฟิสิกส์ ณ กองวิเคราะห์และตรวจสอบทรัพยากรธรณี กรมธรณี พบว่า เป็นหินชนิดหินปูนโดโลไมต์ (dolomite limestone) ประกอบด้วยแร่โดโลไมต์ ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) และแคลไซต์ (CaCO_3) เป็นส่วนใหญ่ มีสารเนื้อถ่านร่วมด้วยทำให้มีสีดำ

1.1.4 หลักไม้บันทึกระดับน้ำ (staff gauge)

1.1.5 อุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ ตลับเมตร หมดไม้ ค้อน เชือก ทราย และจอบ

1.2 อุปกรณ์สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำ

1.2.1 ขวดพลาสติกโพลีเอทิลีนขนาด 500 มิลลิลิตร

1.2.2 กระจกน้ำแข็งและถังน้ำแข็ง

1.2.3 ขวดพลาสติก ขวดมือ และปากกาสำหรับเขียนฉลากที่ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ

1.3 เครื่องมือตรวจวัดน้ำภาคสนามแบบพกพายี่ห้อ WTW รุ่น Multi 340i ใช้ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ พีเอช และออกซิเจนละลายน้ำ และเครื่องมือยี่ห้อ HACT ใช้วัดสภาพการนำไฟฟ้า และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

1.4 เครื่องวัดความเร็วของน้ำ (flow meter) ยี่ห้อ Global Flow Probe รุ่น FP101-FP201

2. เครื่องมือและสารเคมีสำหรับวิเคราะห์บีโอดี

2.1 เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบจานเดียว (electric balance) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP224S

2.2 ตู้อบ (hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น Beschickung-Loading Modell 100-800

2.3 เดซิเคเตอร์ (desiccator) ยี่ห้อ Vakuufest รุ่น SCHOTE 24/29 และสารดูดความชื้น

2.4 เครื่องให้อากาศ (air pump) ยี่ห้อ RESUN รุ่น High Quality AC-9904

2.5 เตาให้ความร้อน (hot plate)

2.6 อุปกรณ์เครื่องแก้ว ได้แก่ ขวดโหลแก้ว ขวดบีโอดี ขวดวัดปริมาตร ขวดรูปชมพู่ ปิเปต บิวเรต ปิกเกอร์ กระบอกตวง หลอดหยด และแท่งแก้วคน เป็นต้น

2.7 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์บีโอดี ได้แก่ สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ สารละลายเฟริกคลอไรด์ สารละลายแมงกานีสซัลเฟต สารละลายอัลคาไลด์-ไอโอไดด์ เอไซด์ (Alkali-Iodide-Azide reagent) กรดซัลฟูริกเข้มข้น น้ำแข็ง สารละลายมาตรฐานโซเดียมไซโอซัลเฟต และสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต

3. เครื่องมือและสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ซีโอดี

3.1 หลอดย่อย (digestion vessels) ขนาด 20x150 มิลลิเมตร ฝาปิดทำด้วย TEE

3.2 heating block แบบดัน สำหรับวางหลอดย่อย

3.3 ตู้อบ (hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น Beschickung-Loading Modell 100-800

3.4 เครื่องเขย่าหลอด (vortex mixer)

3.5 อุปกรณ์เครื่องแก้ว ได้แก่ ขวดวัดปริมาตร ขวดรูปชมพู่ ปิเปต บิวเรต กระบอกตวง ปีกเกอร์ หลอดหยด และแท่งแก้วคน เป็นต้น

3.6 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ซีไอดี ได้แก่ สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต กรดซัลฟูริกเข้มข้น เมอคิวริกซัลเฟต ซิลเวอร์ซัลเฟต สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ และ สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

วิธีการ

การใช้ฝายหินเรียงบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอดในครั้งนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การศึกษาข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษาและความสกปรกของน้ำเสียในรูปบีไอดีของห้วยปลัดแก้ว
2. การศึกษารูปแบบฝายหินเรียงที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชน
3. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยฝายหินเรียงรูปแบบที่เหมาะสมแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

วิธีการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

1. การศึกษาข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษาและความสกปรกของน้ำเสียในรูปบีโอดีของห้วยปลัดแก้ว

1.1 ศึกษาข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษาห้วยปลัดแก้ว อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง ข้อมูลที่ศึกษาจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวางแผนการทดลองในการศึกษาขั้นต่อไป

1.2 ศึกษาค่าความสกปรกของน้ำเสียในรูปของบีโอดี กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียบริเวณใกล้ปากท่อปล่อยน้ำทิ้งตามระยะทางตลอดความยาวของลำห้วยจำนวน 7 จุด (ภาพที่ 10) โดยแต่ละจุดวัดตำแหน่งพิกัดดาวเทียม ด้วยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (global positioning system; GPS) มีรายละเอียดดังนี้

จุดที่ 1 พิกัด UTM 47N 0570614, 0860173 บริเวณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

จุดที่ 2 พิกัด UTM 47 N 0570506, 0860442 บริเวณสุขซอยตรอกชีหามา

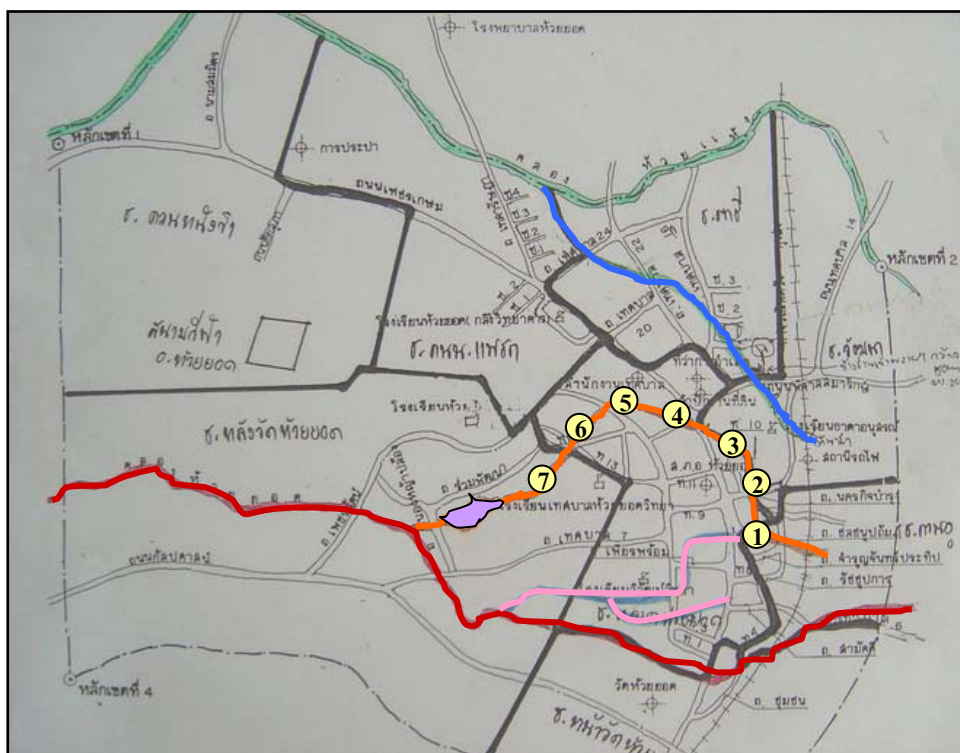
จุดที่ 3 พิกัด UTM 47 N 0570333, 0860564 บริเวณสี่แยกคลินิกเอกชน

จุดที่ 4 พิกัด UTM 47 N 0570191, 0860670 บริเวณหลังศูนย์สุขภาพชุมชน

จุดที่ 5 พิกัด UTM 47 N 0570057, 0860642 บริเวณกองสาธารณสุขสิ่งแวดล้อม

จุดที่ 6 พิกัด UTM 47 N 0569924, 0860516 บริเวณสะพานข้ามถนนเทศบาล 15

จุดที่ 7 พิกัด UTM 47 N 0569735, 0860378 บริเวณสุดลำน้ำห้วยปลัดแก้ว



ภาพที่ 10 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำเสียบริเวณพื้นที่ศึกษาห้วยปลัดแก้ว อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง (เส้นสีส้ม)

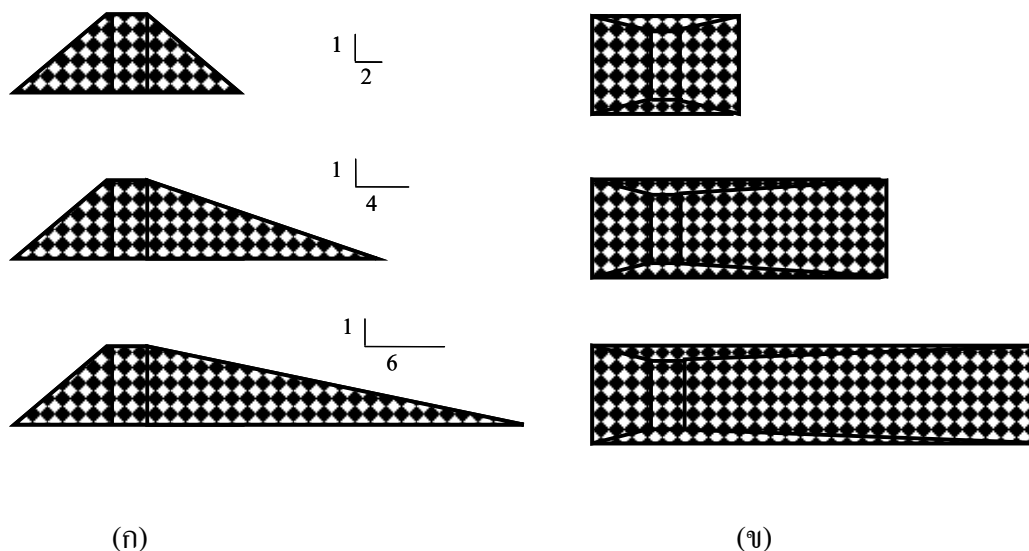
เก็บตัวอย่างน้ำเสีย 2 ช่วงตามตัวแทนฤดูกาล คือ ฤดูแล้งในเดือนกุมภาพันธ์ และฤดูฝนในเดือนตุลาคม จำนวน 3 ชั่วโมง ใช้วิธีเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วง ที่ระดับกึ่งกลางความลึกของน้ำ ใส่ขวดโพลีเอทาลีนขนาด 500 มิลลิลิตร แช่ในถังน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส และนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี BOD incubation 20°C, 5 day (APHA *et al.*, 1992)

2. การศึกษารูปแบบฝายหินเรียงที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

2.1 รูปแบบฝายหินเรียง

การศึกษารูปแบบฝายหินเรียงที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ใช้ฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู กว้าง 1.5 เมตร สูง 0.5 เมตร สันฝายมีระยะห่าง 0.3 เมตร ด้านหน้าฝายมีความลาดชัน 1:2 (แนวตั้ง: แนวราบ) กำหนดด้านท้ายฝายมีความลาดชันแตกต่างกัน 3 รูปแบบ คือ 1:2 1:4 และ 1:6

(ภาพที่ 11) จากสัดส่วนดังกล่าวทำให้ฝ่ายแต่ละรูปแบบมีความยาวทั้งหมด 2.3 3.3 และ 4.3 เมตรตามลำดับ และมีปริมาตรฝ่ายเท่ากับ 0.98 1.35 และ 1.73 ลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 11 ฝ่ายหินเรียงที่มีความลาดชันด้านท้ายฝ่าย 1:2 1:4 และ 1:6

(ก) มองจากด้านข้าง (lateral view) (ข) มองจากด้านบน (top view)

2.2 การก่อสร้างฝ่ายหินเรียง

ก่อสร้างฝ่ายหินเรียงที่มีความลาดชันท้ายฝ่าย 1:2 1:4 และ 1:6 รูปแบบละ 3 ฝ่าย เพื่อใช้ในการทดลองบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ถูกปล่อยทิ้งลงห้วยปลัดแก้ว ที่มีแหล่งกำเนิดของน้ำเสียแตกต่างกัน 3 จุดทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

จุดทดลองที่ 1 บริเวณศูนย์สุขภาพชุมชน รองรับน้ำเสียจากบ้านเรือน สถานพยาบาล ร้านอาหาร และโรงหมักไถ่ย่าง

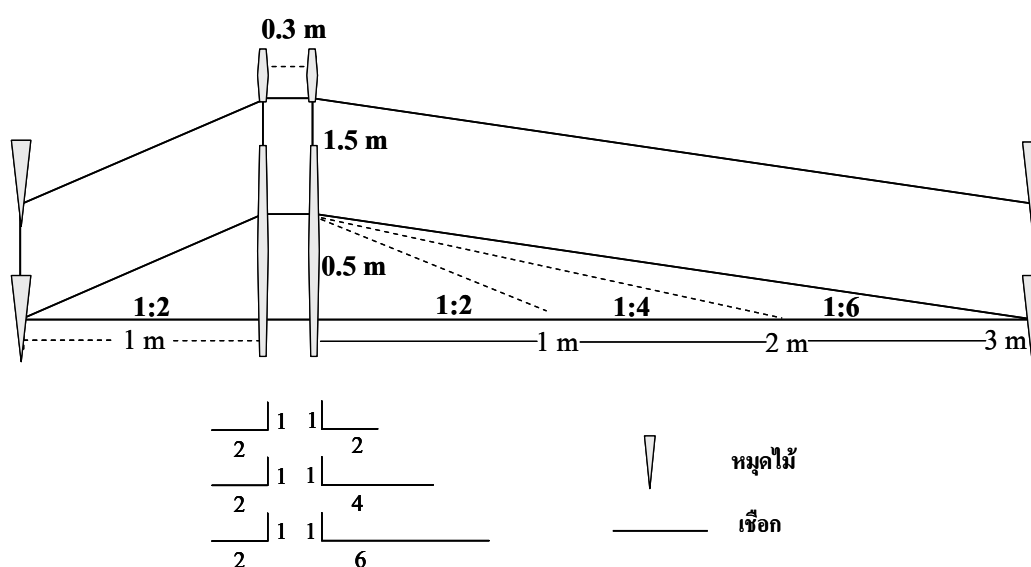
จุดทดลองที่ 2 บริเวณเทศบาลตำบลห้วยยอด รองรับน้ำเสียจากสถานที่ราชการ บ้านเรือน และร้านอาหาร

จุดทดลองที่ 3 บริเวณก่อนถึงสะพานถนนข้ามเทศบาล 15 รองรับน้ำเสียจากบ้านเรือน โรงเรียน และร้านอาหาร

ทุกจุดทดลองเป็นพื้นที่ค่อนข้างตรง มีระยะห่างกันประมาณ 80-100 เมตร มีแสงแดดส่องถึง น้ำเสียไหลเข้าด้านหน้าฝาย และไหลออกด้านหลังฝายตามธรรมชาติอยู่ตลอดเวลาโดยไม่มีน้ำเสียไหลเข้าด้านหลังฝาย วิธีการก่อสร้างฝายหินเรียงมีรายละเอียดดังนี้

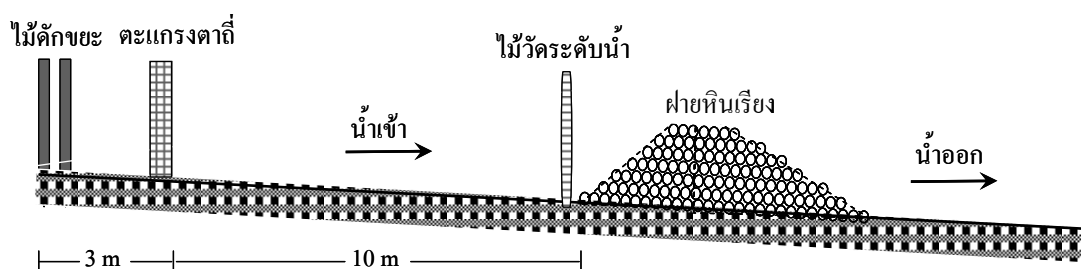
2.2.1 การก่อสร้างฝายในแต่ละจุดทดลองจะใช้กระสอบทรายปิดกั้นลำน้ำเหนือพื้นที่ก่อสร้างฝาย เพื่อให้พื้นที่ท้องน้ำอยู่ในสภาพแห้งหมาด เก็บเศษไม้ เศษขยะ และสิ่งขีดยางอื่นๆ ออกจากลำน้ำจนหมด แล้วจึงปรับพื้นที่ท้องน้ำให้เรียบ

2.2.2 วัดขนาดพื้นที่ของลำห้วย กำหนดจุดด้วยหมุดไม้ และดึงเชือกตามขนาดของรูปแบบฝายหินเรียงที่กำหนดไว้ เพื่อใช้เป็นแบบในการจัดเรียงหิน (ภาพที่ 12) แล้วนำหินปูนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12-20 เซนติเมตร วางเรียงซ้อนทับแบบสลับหว่างระหว่างชั้นตามแบบที่ดึงเชือกไว้จนเต็ม โดยให้หินขนาดใหญ่อยู่ชั้นล่างเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับฝาย (ภาพผนวกที่ ก2)



ภาพที่ 12 การปักหมุดไม้ ดึงเชือก เพื่อใช้เป็นแบบในการสร้างฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบ

2.2.4 ติดตั้งเครื่องมือวัดกษยะจำนวน 2 ชั้นให้มีระยะห่างกัน 3 เมตร โดยชั้นแรกใช้ไม้ปักกลับฟันปลาสำหรับวัดกษยะขนาดใหญ่ ชั้นที่สองติดตั้งตะแกรงตาถี่ขนาด 1 x 1 นิ้ว สำหรับวัดกษยะเล็ก อยู่ในระยะ 10 เมตรก่อนถึงหน้าฝาย (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 ภาพด้านข้างของการติดตั้งฝายหินเรียงในการบำบัดน้ำเสียชุมชนในห้วยปลัดแก้ว

2.3 การบำบัดน้ำเสียชุมชน

การบำบัดน้ำเสียด้วยฝายหินเรียงที่มีความลาดชันท้ายฝาย 1:2 1:4 และ 1:6 จะทำการทดลองบำบัดน้ำเสียรูปแบบละ 1 สัปดาห์ ในแหล่งกำเนิดน้ำเสียที่แตกต่างกัน 3 จุดทดลอง เมื่อครบ 1 สัปดาห์ จะใช้หินใหม่สร้างฝายรูปแบบใหม่แทน เริ่มจากฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 1:4 และ 1:6 ตามลำดับ มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 ศึกษาข้อมูลทางชลศาสตร์ ได้แก่ ความสูงของน้ำด้านหน้าฝายและหลังฝายด้วยไม้วัดระดับน้ำ (staff gauge) และวัดความเร็วน้ำไหลผ่านฝายด้วยวิธีเทสิ เพื่อคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายเมื่อเริ่มต้นสร้างฝาย และระยะเวลาการกักเก็บน้ำตามสมการ

$$V = \frac{s}{t} \quad \text{เมื่อ} \quad V \text{ คือ ความเร็วน้ำ (เมตร/วินาที)}$$

s คือ ระยะทาง (เมตร)

และ t คือ เวลา (วินาที)

$$Q = VA \quad \text{เมื่อ} \quad Q \text{ คือ อัตราการไหลผ่านฝาย (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)}$$

V คือ ความเร็วน้ำ (เมตร/วินาที)

และ A คือ พื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ (ตารางเมตร)

$$HRT = \frac{V}{Q} \quad \text{เมื่อ} \quad HRT \text{ คือ ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ (วินาที)}$$

Q คือ อัตราการไหลผ่านฝาย (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

V คือ ปริมาตรของฝาย (ลูกบาศก์เมตร)

2.3.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ เก็บตัวอย่างน้ำในระยะ 1 เมตรก่อนเข้าฝาย (influent) และหลังออกจากฝาย (effluent) โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วง (grab sampling) บริเวณกึ่งกลางน้ำ ใส่ขวดโพลีเอทาลีนขนาด 500 มิลลิลิตร แช่ในถังน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างทุกวันเพื่อวิเคราะห์ค่าซีไอดีเป็นเวลา 5 วัน และวิเคราะห์ค่าบีไอดีในวันที่ 1 3 และ 5 ของการทดลอง ใช้วิธีวิเคราะห์ของ APHA *et al.* (1992)

2.3.3 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่อยู่ในรูปบีไอดีและซีไอดี จากการคำนวณดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)} = \frac{\text{ซีไอดี/บีไอดีก่อนบำบัด} - \text{ซีไอดี/บีไอดีหลังบำบัด} \times 100}{\text{ซีไอดี/บีไอดีก่อนบำบัด}}$$

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลจากการวิเคราะห์หาค่าซีไอดีและบีไอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียง 3 รูปแบบ วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ paired t-test และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีและบีไอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way analysis of variance) เพื่อหาค่า F-value และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีและบีไอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรมทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยฝายหินเรียงรูปแบบที่เหมาะสมแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

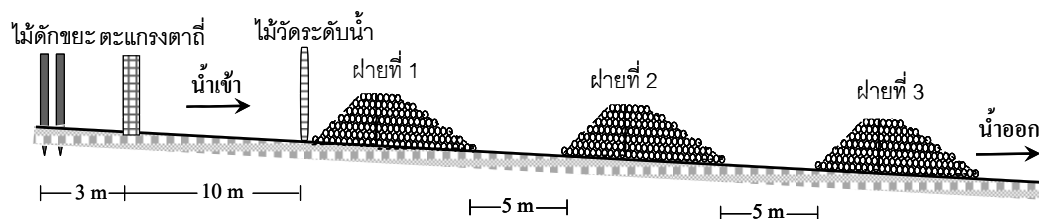
ขั้นตอนนี้นำฝายหินเรียงรูปแบบที่เหมาะสมจากผลการทดลองข้อ 2 มาใช้ในการสร้างฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง มีระยะห่างระหว่างฝาย 5 เมตร (ภาพที่ 14 และภาพผนวกที่ ก3)

จำนวน 3 ชุดทดลอง แต่ละชุดทดลองจะก่อสร้างในลำห้วยปลัดแก้วซึ่งรองรับน้ำเสียที่มีแหล่งกำเนิดแตกต่างกันดังนี้

ชุดทดลองที่ 1 บริเวณศูนย์สุขภาพชุมชน รองรับน้ำเสียจากชุมชน สถานพยาบาล ร้านอาหาร และโรงแรมอย่างไ้ย่าง มีความลาดชันของพื้นที่ 1.1 %

ชุดทดลองที่ 2 บริเวณเทศบาลตำบลห้วยยอด รองรับน้ำเสียจากสถานที่ราชการ บ้านเรือน และร้านอาหาร มีความลาดชันของพื้นที่ 0.4 %

ชุดทดลองที่ 3 บริเวณโรงผลิตเส้นขนมจีน รองรับน้ำเสียจากโรงผลิตเส้นขนมจีน โรงเรียน บ้านเรือน และร้านอาหาร มีความลาดชันของพื้นที่ 0.8 %

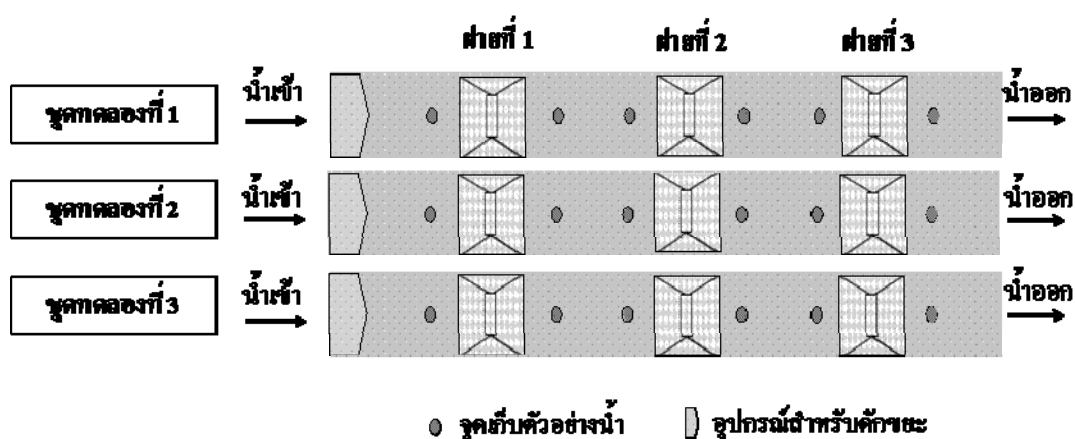


ภาพที่ 14 ลักษณะฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

ทั้ง 3 ชุดทดลอง น้ำเสียจะไหลเข้าทางหน้าฝายที่ 1 ผ่านฝายที่ 2 และฝายที่ 3 ตามลำดับ

3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำจะเก็บตัวอย่างน้ำในระยะ 1 เมตรก่อนเข้าฝายและหลังออกจากฝายแต่ละฝาย (ภาพที่ 15) สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่างหรือพีเอช อุณหภูมิ ออกซิเจนละลายน้ำ สภาพการนำไฟฟ้า และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ในภาคสนามด้วยเครื่องมือแบบพกพา และเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำไปวิเคราะห์บีโอดีในห้องปฏิบัติการ โดยใช้วิธี BOD incubation 20°C, 5 day ใช้วิธีเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงบริเวณกึ่งกลางน้ำใส่ขวดโพลีเอทธิลีนขนาด 500 มิลลิลิตร แช่ในถังน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส ดังสรุปแสดงในตารางที่ 5 ทั้งนี้จะทำการสะอาดฝายในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง



ภาพที่ 15 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละชุดทดลอง

ตารางที่ 5 ดัชนีคุณภาพน้ำที่วิเคราะห์

ดัชนีคุณภาพน้ำ	วิธีการวิเคราะห์	หมายเหตุ
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	pH meter	วิเคราะห์ภาคสนาม
ความเป็นกรดเป็นด่าง	pH meter	วิเคราะห์ภาคสนาม
การนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)	EC meter	วิเคราะห์ภาคสนาม
ออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	DO meter	วิเคราะห์ภาคสนาม
ของแข็งละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	EC meter	วิเคราะห์ภาคสนาม
บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	BOD incubation 20°C, 5 day	วิเคราะห์ห้องปฏิบัติการ

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.2.1 นำข้อมูลจากการวิเคราะห์หาค่าบีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง จำนวน 3 ชุดทดลองที่มีแหล่งกำเนิดน้ำเสียแตกต่างกัน วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ paired t-test ด้วยโปรแกรมทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way analysis of variance) เพื่อหาค่า F-value และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

ระหว่างชุดทดลอง ระหว่างฝ่ายในแต่ละชุดทดลอง และระหว่างสัปดาห์ของการทดลอง โดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรมทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าบีโอดี และระยะเวลาเก็บประสิทธิภาพการบำบัด บีโอดีของฝายหินเรียงแบบ 3 ฝ่ายต่อเนื่อง โดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient; r) ระหว่างตัวแปรทั้งสอง ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง +1 และวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Linear Simple Regression) ด้วยโปรแกรมทางสถิติ เพื่อใช้ในการประมาณค่า และพยากรณ์ค่าของตัวแปรหนึ่งจากตัวแปรอีกตัวหนึ่ง โดยกำหนดให้ค่าบีโอดีก่อนการบำบัด และระยะเวลาในการทดลองเป็นตัวแปรอิสระ (X) และประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียงแต่ละชุดทดลองเป็นตัวแปรตาม (Y) แล้วนำเสนอสมการเส้นตรง $Y = a + bX$

4. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลอง ณ ห้วยปลัดแก้ว เทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง และวิเคราะห์ค่าซีโอดีและบีโอดี ณ ห้องปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

5. ระยะเวลาทำการวิจัย

ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2550 ถึง เดือนธันวาคม 2551

ผลและวิจารณ์

การใช้ฝายหินเรียงบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง ได้แบ่งผลการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

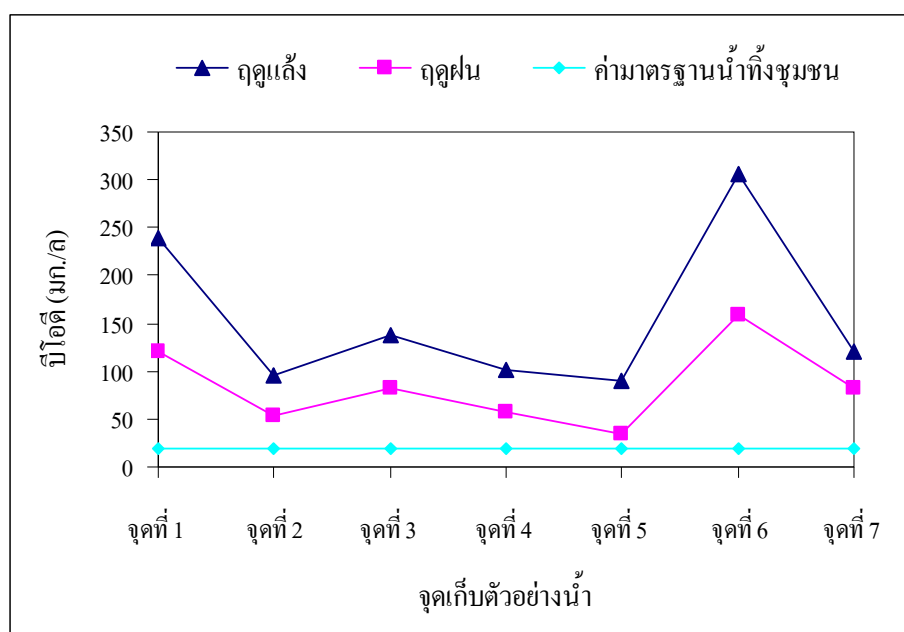
1. การศึกษาข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษาและความสกปรกของน้ำเสียในรูปบีโอดีของห้วยปลัดแก้ว
2. การศึกษารูปแบบฝายหินเรียงที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชน
3. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยฝายหินเรียงรูปแบบที่เหมาะสมแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

1. ผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษาและความสกปรกของน้ำเสียในรูปบีโอดีของห้วยปลัดแก้ว

ห้วยปลัดแก้วเป็นลำห้วยสาธารณะที่ตัดผ่านกลางเขตเทศบาลตำบลห้วยยอด ซึ่งใช้สำหรับรองรับน้ำเสียส่วนใหญ่จากชุมชนมากกว่าลำห้วยอื่นๆ มีลักษณะเป็นคันหินที่ยาวแนว พื้นที่ด้านล่างเป็นดิน ความยาว 1,312 เมตร สูงประมาณ 1-1.5 เมตร กิจกรรมที่ก่อให้เกิดน้ำเสียตลอดลำห้วยปลัดแก้วส่วนใหญ่เกิดจากบ้านเรือน นอกจากนี้ก็จะเป็น โรงน้ำแข็ง โรงผลิตขนมจีน โรงพิมพ์ ร้านหมูย่างและไก่ย่าง อยู่ซ่อมรถ ร้านล้างรถ ร้านตัดผม ร้านขายของชำ ร้านถ่ายเอกสาร ร้านอาหาร ตลาดหน่วยงานราชการ สถานพยาบาล ศูนย์สุขภาพชุมชน โรงเรียน และคอกเลี้ยงสัตว์ ฯลฯ กิจกรรมทั้งหมดที่กล่าวมานี้มีการใช้น้ำและปล่อยน้ำทิ้งโดยตลอดระยะทางของห้วยปลัดแก้ว

ผลการศึกษาคุณลักษณะน้ำเสียในห้วยปลัดแก้ว ความสกปรกของน้ำเสียในรูปของบีโอดีที่ 2 ตุลาคม คือ ฤดูแล้งในเดือนกุมภาพันธ์ และฤดูฝนในเดือนตุลาคม เก็บตัวอย่างน้ำจำนวน 7 จุด ทดลองตลอดลำน้ำ ตามทิศทางการไหลของน้ำ ระยะห่างของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างน้ำมีระยะใกล้เคียงกัน พบว่า ค่าความสกปรกในรูปบีโอดีทั้ง 7 จุดทดลอง มีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนที่ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้ง 2 ฤดูกาล ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 16 มีรายละเอียดดังนี้

จุดทดลองที่ 1 บริเวณหน้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นจุดเริ่มต้นของห้วยปลัดแก้ว มีค่าบีโอดีในฤดูแล้งและฤดูฝนเท่ากับ 240 และ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ รองรับน้ำเสียจากบ้านเรือน ร้านค้า และร้านอาหาร มีที่อาศัยอยู่ค่อนข้างหนาแน่น ลักษณะลำห้วยถูกบ้านเรือนสร้างครอบอยู่บนลำห้วย และก่อสร้างบ้านเรือนติดกับลำห้วย ซึ่งส่วนใหญ่แสงแดดไม่สามารถส่องถึงพื้นน้ำได้จึงทำให้การบำบัดด้วยตัวเอง (self purification) เกิดขึ้นได้น้อยมาก ค่าบีโอดีจึงค่อนข้างสูงในทั้งสองฤดู



ภาพที่ 16 บีโอดีของน้ำเสียในห้วยปลัดแก้วจำนวน 7 จุดทดลองในฤดูแล้งและฤดูฝน

จุดทดลองที่ 2 บริเวณสุขซอยตรอกจีหมา มีค่าบีโอดีในฤดูแล้งและฤดูฝนเท่ากับ 96 และ 53 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในจุดนี้มีแหล่งกำเนิดน้ำเสียมาจากหลายกิจกรรม เช่น บ้านเรือน ร้านล้างรถ ร้านซ่อมรถมอเตอร์ไซด์ ร้านตัดผม และร้านอาหาร เป็นต้น บริเวณนี้มีลักษณะเปิดโล่งมีแสงส่องถึงตลอด ทำให้เมื่อน้ำเสียไหลมาถึงจุดนี้ มีกระบวนการบำบัดโดยธรรมชาติของพันธุ์ไม้น้ำ แพลงก์ตอน และจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้ เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยธรรมชาติระหว่างทางไหล และทั้งนี้จุดนี้มีน้ำน้อยค่อนข้างดีเนื่องจากพื้นที่มีความลาดชันมากกว่าจุดแรก จึงทำให้มีค่าบีโอดีต่ำกว่าในจุดแรก

จุดทดลองที่ 3 บริเวณสี่แยกคลินิกเอกชน มีค่าบีโอดีในฤดูแล้งและฤดูฝนเท่ากับ 138 และ 82 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จุดนี้มีแหล่งกำเนิดของน้ำเสียเกิดจากบ้านเรือน คอกเลี้ยงสัตว์ ร้านหมูย่างไก่ย่าง หน่วยงานราชการ โรงพิมพ์ ร้านถ่ายเอกสาร ร้านค้า ร้านอาหาร และคลินิกเอกชน จุดนี้มีน้ำไหลเอื่อยมีเกิดดินตะกอนทับถมขัดขวางการไหลของน้ำบริเวณสะพานข้ามถนน ทำให้เกิดการหมักหมมของน้ำเสียจึงมีค่าบีโอดีค่อนข้างสูงในฤดูแล้ง

จุดทดลองที่ 4 บริเวณหลังศูนย์สุขภาพชุมชน มีค่าบีโอดีในฤดูแล้งและฤดูฝนเท่ากับ 102 และ 58 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เป็นบริเวณที่มีบ้านเรือนอยู่น้อย สถานที่ราชการ ร้านถ่ายเอกสาร และศูนย์สุขภาพชุมชน มีค่าบีโอดีลดลงกว่าจุดที่ 3 เนื่องจากจุดนี้เป็นที่โปร่ง มีแสงแดดส่องถึงพื้นโดยตลอด น้ำไหลได้ดี แต่บริเวณสะพานข้ามถนนหลังศูนย์สุขภาพชุมชนน้ำจะชะลอตัวจึงอาจเกิดการหมักหมมและทำให้ค่าบีโอดีสูงขึ้นได้

จุดทดลองที่ 5 บริเวณหลังกองสาธารณสุขสิ่งแวดล้อม มีค่าบีโอดีในฤดูแล้งและฤดูฝนเท่ากับ 90 และ 34 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จุดนี้รองรับน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ น้อย มีบ้านเรือน ร้านค้า ร้านอาหาร และหน่วยงานราชการ น้ำไหลได้ดี จึงทำให้มีค่าบีโอดีลดน้อยลง

จุดทดลองที่ 6 บริเวณหลังสะพานถนนเทศบาล 15 มีค่าบีโอดีในฤดูแล้งและฤดูฝนเท่ากับ 306 และ 158 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จุดนี้มีแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากบ้านเรือน ร้านค้า และโรงผลิตเส้นขนมจีนมีความสกปรกสูงที่สุดทั้งในฤดูแล้งและในฤดูฝน นอกจากจะมีสารอินทรีย์จากบ้านเรือนแล้วยังมีของเสียที่เหลือจากกระบวนการผลิตเป็นพวกน้ำแป้ง ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ และเป็นอาหารอย่างดีของจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ต้องใช้ออกซิเจนจำนวนมากในกระบวนการนี้ ส่งผลให้จุดนี้มีค่าบีโอดีสูงถึง 306 มิลลิกรัมต่อลิตรในฤดูแล้ง และถึงแม้ว่าในฤดูฝนจะถูกเจือจางด้วยน้ำฝนแล้วก็ตามก็ยังมีความบีโอดีสูงอยู่

จุดทดลองที่ 7 บริเวณสุดลำนน้ำห้วยปลัดแก้ว มีค่าบีโอดีในฤดูแล้งและฤดูฝนเท่ากับ 120 และ 82 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีแหล่งกำเนิดเกิดจากบ้านเรือน ร้านค้า และโรงเรียน โดยจุดนี้มีน้ำไหลเอื่อยและชะลออยู่บริเวณหน้าท่อบริเวณสะพานข้ามถนน ซึ่งเกิดจากการพัฒนาของตะกอนและสารอินทรีย์ จากตอนบนของลำห้วยลงมามาก และยังได้รับอิทธิพลจากน้ำเสียจากโรงขนมจีน จึงมีค่าบีโอดีสูงทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน

จากผลการวิเคราะห์ค่าบีโอดีในน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัดในห้วยปลัดแก้วจำนวน 7 จุด ทดลอง ทั้ง 2 ฤดูกาล พบว่าในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 96-306 และ 34-158 มิลลิกรัม ต่อลิตร และมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 156 และ 84 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร ประเภท ก (ตารางผนวกที่ ก2) และมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนที่กำหนดไว้ว่าหากประชากรตั้งแต่ 2,500 คน เป็นต้นไป ต้องมีค่าบีโอดีไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร (กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2534) ถึงแม้ว่าในช่วงน้ำหลากปริมาณสารอินทรีย์จะลดน้อยลงเพราะปริมาณน้ำที่มากจะชะล้างพัดพาเศษ อินทรีย์ออกจากพื้นที่และสามารถเจือจางปริมาณสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีได้ (อุราสี, 2549) สำหรับห้วย ปลัดแก้วถ้ามีปริมาณน้ำฝนมากจะสามารถพัดพาตะกอนและสารอินทรีย์ต่างๆ ออกไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพื้นที่ที่มีความลาดชัน แต่อย่างไรก็ตามห้วยปลัดแก้วก็ยังมีค่าบีโอดีอยู่ในระดับที่เกินค่า มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ทั้งนี้เป็นเพราะน้ำเสียจะถูกเจือจางจากน้ำฝนมากเฉพาะช่วงที่ฝนกำลังตกอยู่ เท่านั้น ซึ่งน้ำเสียนี้อาจมีลักษณะไหลเอื่อย และค่อนข้างตื้น

จากข้อมูลการศึกษาความสกปรกของน้ำเสียในรูปบีโอดีของห้วยปลัดแก้วในปัจจุบัน กล่าว ได้ว่า ห้วยปลัดแก้วไม่สามารถบำบัดตัวเองได้ตามธรรมชาติ เนื่องจากตลอดระยะทางของห้วยปลัด แก้ว มีการปล่อยน้ำเสียจากชุมชนเพิ่มเข้ามา จึงทำให้มีความสกปรกของน้ำเสียในรูปของบีโอดีเพิ่ม สูงขึ้นโดยเฉพาะในจุดที่ 6 จึงต้องมีการจัดการบำบัดน้ำเสียอย่างเป็นระบบต่อไป ซึ่งการทดลองใช้ ฝ่ายหินเรียงบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีทางธรรมชาติที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับเทศบาลตำบลห้วยยอด

2. ผลการศึกษารูปแบบฝ่ายหินเรียงที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย

การศึกษาฝ่ายหินเรียงที่มีความลาดชันท้ายฝ่ายแตกต่างกัน 3 รูปแบบ คือ 1:2 1:4 และ 1:6 โดยก่อสร้างฝ่ายหินเรียงรูปแบบละ 3 ฝ่าย ใน 3 จุดทดลอง เพื่อศึกษารูปแบบที่เหมาะสมในการ บำบัดน้ำเสีย ทำการทดลองเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ปัจจัยทางชลศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 อัตราการไหลของน้ำผ่านฝ่ายหินเรียงเมื่อเริ่มสร้างฝ่าย

อัตราการไหลของน้ำผ่านฝ่ายหินเรียงที่มีความลาดชันท้ายฝ่าย 1:2 1:4 และ 1:6 เมื่อ เริ่มสร้างฝ่ายเท่ากับ 0.02 0.03 และ 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (ตารางที่ 6) โดยที่การทดลองมีน้ำ

เสียไหลเข้าฝายอยู่ตลอดเวลา สำหรับในวันต่อไป น้ำไหลผ่านฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบได้น้อยลง เนื่องจากเกิดการอุดตันระหว่างช่องว่างของหินเรียงซึ่งเกิดจากตะกอนที่ปะปนมากับน้ำเสีย และเกิดแรงเครียดระหว่างน้ำที่ไหลมากระทบกับฝายหินเรียง ทำให้น้ำชะลอการไหลอยู่บริเวณหน้าฝาย ไม่สามารถไหลผ่านได้สะดวกจึงทำให้ด้านหน้าฝายมีระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้น จนในที่สุดทำให้น้ำเสียบางส่วนไหลล้นผ่านสันฝายไป ฝายหินเรียงที่ความลาดชันท้ายฝาย 1:2 1:4 และ 1:6 มีอัตราการไหลล้นของน้ำผ่านฝายในวันที่ 4 3 และ 2 ของการทดลอง ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงความลาดชันท้ายฝายมีผลต่ออัตราการไหลล้นของน้ำผ่านฝาย

2.1.2 ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียของฝายหินเรียงเมื่อเริ่มสร้างฝาย

ผลการศึกษาระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียเมื่อเริ่มสร้างฝายหินเรียง 3 รูปแบบ พบว่า ฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 1:4 และ 1:6 มีอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายเฉลี่ยเท่ากับ 0.02 0.03 และ 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และมีระยะเวลาการเก็บกักเท่ากับ 29.1 39.4 และ 49.4 ชั่วโมง ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปัจจัยทางชลศาสตร์ของฝายหินเรียงที่ความลาดชันท้ายฝาย 3 รูปแบบ

ปัจจัย	รูปแบบฝายหินเรียง		
	1:2	1:4	1:6
ความเร็วน้ำไหลผ่านฝายเฉลี่ย (เมตร/วินาที)	0.04	0.05	0.06
อัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)	0.02	0.03	0.05
ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ (ชั่วโมง)	29.1	39.4	49.4
ระดับน้ำด้านหน้าฝายเฉลี่ย (เซนติเมตร)	34.4	38.8	46.6
ระดับน้ำด้านหลังฝายเฉลี่ย (เซนติเมตร)	11.6	12.6	13.0
ระยะเวลาการไหลล้นของน้ำผ่านฝาย (วัน)	4	3	2

ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียของฝายแต่ละรูปแบบไม่เท่ากันเนื่องจากความยาวของฝายหินเรียงแตกต่างกัน ลักษณะการเรียงหินแบบสลับระหว่างระหว่างชั้นตามแบบฝายหินเรียงที่ความลาดชันท้ายฝายต่างๆ หลังจากนั้นน้ำเสียไหลผ่านฝายเป็นระยะเวลาหนึ่งจะเกิดการอุดตันระหว่างช่องว่างของหินเรียงของอนุภาคสารแขวนลอยขนาดใหญ่ ที่ไม่สามารถคัดออกด้วยตะแกรงคัดเศษ

ขยะ เนื่องจากจุลินทรีย์หรือตะกอนที่ปะปนมากับน้ำเสียมีมากเกินไปซึ่งส่วนใหญ่เป็นประเภทของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ

เมื่อน้ำเสียสัมผัสกับก้อนหินที่จัดเรียงไว้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชั้นฟิล์มบนก้อนหินขึ้นตลอดเวลาที่มีน้ำเสียไหลผ่าน โดยมีจุลินทรีย์จำนวนมากเกาะบนผิวก้อนหิน (ภาพผนวกที่ ก4) ซึ่งมีลักษณะเป็นเมือกเหนียวที่เรียกว่า ฟิล์มชีวภาพ (biofilm) ซึ่งจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นหนาขึ้น โดยเริ่มจากมีเมือกเป็นชั้นบางๆ อยู่ในสภาพใช้อากาศ (aerobic layer) และเริ่มหนาขึ้น จนทำให้ออกซิเจนเข้าสู่ชั้นฟิล์มที่ลึกเข้าไปได้ยาก จึงค่อยๆ มีสภาพแบบไร้อากาศ (anaerobic layer) เกิดขึ้นภายในชั้นฟิล์มชีวภาพ ส่วนผิวนอกยังคงสภาพใช้อากาศอยู่ และมีความหนาเท่าๆ กับช่วงที่แล้ว เมื่อฟิล์มชีวภาพหนามากๆ จุลินทรีย์ชั้นในสุดจะเริ่มตายลง เนื่องจากเกิดปัญหาทางจรรยาบรรณในระบบชีวเคมีของจุลินทรีย์ และเกิดการหลุดลอกด้วยแรงเฉือนของน้ำ (ภาพผนวกที่ ก5) การหลุดลอกของไบโอฟิล์มเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการอุดตันเร็วขึ้น ดังนั้นจึงมีแนวโน้มของระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียของฝายแต่ละรูปแบบมีระยะเวลานานขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดจนถึงระยะการไหลล้นของน้ำเสียผ่านฝาย อย่างไรก็ตามฝายหินเรียงที่มีความลาดชันด้านท้ายฝาย 1:6 มีระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียสูงสุดในระยะแรกของการทดลองเท่านั้น ภายหลังเกิดการอุดตันจะเกิดการไหลล้นของน้ำผ่านฝายเร็วกว่าฝายหินเรียงรูปแบบอื่นๆ

2.2 ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ

การใช้ค่าชีโอดีเป็นดัชนีในการบ่งบอกประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของฝายหินเรียง จะทำให้ความสามารถเลือกฝายหินเรียงที่มีความลาดชันท้ายฝายเหมาะสมสำหรับการบำบัดได้ โดยการวัดค่าชีโอดีจะวัดปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียทั้งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้และย่อยสลายไม่ได้ด้วยสารเคมี จนได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำอย่างสมบูรณ์ ในการศึกษาใช้วิธีวิเคราะห์ค่าชีโอดีแบบปิด (closed reflux) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม การวิเคราะห์ค่าชีโอดีก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงที่มีความลาดชันท้ายฝาย 3 รูปแบบ คือ 1:2 1:4 และ 1:6 จำนวน 3 จุดทดลองๆ ละ 1 ฝาย เก็บตัวอย่างน้ำทุกๆ วัน เป็นเวลา 5 วัน พบว่าฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบสามารถลดความสกปรกในรูปของชีโอดีได้ โดยน้ำเสียภายหลังผ่านการบำบัดด้วยฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบ มีค่าชีโอดีลดลงทุกจุดทดลอง ช่วงพิสัยของข้อมูล ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของผลจากการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 ค่าซีโอดีก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียง 3 รูปแบบ

ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดีในน้ำเสียก่อนบำบัดด้วยฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 จำนวน 3 จุดทดลอง เป็นเวลา 5 วัน พบว่า จุดทดลองที่ 1 บริเวณศูนย์สุขภาพชุมชน จุดทดลองที่ 2 บริเวณเทศบาลตำบลห้วยยอด และจุดทดลองที่ 3 บริเวณสะพานถนนเทศบาล 15 มีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 64.7-110.4 53.3-110.4 และ 60.9-225.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 90.1 ± 19.6 91.1 ± 22.1 และ 107.1 ± 67.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำเสียหลังบำบัดมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 49.5-91.4 45.7-99.8 และ 45.7-152.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 72.6 ± 19.9 70.2 ± 20.5 และ 83.8 ± 40.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 7) วันที่ 3 ของการทดลองมีฝนตกทำให้มีค่าซีโอดีก่อนบำบัดต่ำกว่าวันอื่นๆ เนื่องจากเกิดการเจือจางด้วยน้ำฝน สารอินทรีย์จึงมีความเข้มข้นต่ำลง

ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดีในน้ำเสียก่อนบำบัดด้วยฝายหินเรียงรูปแบบ 1:4 จำนวน 3 จุดทดลอง เป็นเวลา 5 วัน พบว่า จุดทดลองที่ 1 จุดทดลองที่ 2 และจุดทดลองที่ 3 ค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 93.9-262.5 134.5-278.2 และ 132.0-315.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 154.6 ± 63.7 184.4 ± 64.3 และ 220.0 ± 75.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำเสียหลังบำบัดมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 87.6-221.2 92.7-221.2 และ 107.2-250.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 140.8 ± 49.2 154.5 ± 57.2 และ 180.5 ± 62.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 7) มีค่าซีโอดีสูงสุดในวันที่ 4 ของการทดลอง และค่อนข้างสูงกว่าการทดลองในรูปแบบอื่นๆ เนื่องจากไม่ได้รับอิทธิพลจากการเจือจางของน้ำฝน

ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดีในน้ำเสียก่อนบำบัดด้วยฝายหินเรียงรูปแบบ 1:6 จำนวน 3 จุดทดลอง เป็นเวลา 5 วัน พบว่า จุดทดลองที่ 1 จุดทดลองที่ 2 และจุดทดลองที่ 3 ค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 58.6-93.2 44.0-91.1 และ 48.8-64.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 74.3 ± 13.3 67.2 ± 18.5 และ 58.2 ± 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำเสียหลังบำบัดมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 45.5-82.8 41.4-75.1 และ 29.3-59.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 61.0 ± 16.4 55.8 ± 14.2 และ 50.2 ± 12.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 7) ในการทดลองนี้เช่นเดียวกับการทดลองฝายหินเรียงในรูปแบบ 1:2 ซึ่งน้ำเสียจะได้รับการเจือจางจากน้ำฝนที่ตกอยู่เกือบทุกวัน ทำให้มีความเข้มข้นของน้ำเสียต่ำกว่าในรูปแบบอื่นๆ

ตารางที่ 7 ค่าซีไอของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียง 3 รูปแบบ

รูปแบบฝาย	เวลา (วัน)					mean	S.D.
	1	2	3	4	5		
ก่อนการบำบัด							
รูปแบบฝาย 1:2							
จุดทดลองที่ 1	110.4	76.2	64.7	92.7	106.6	90.1	19.6
จุดทดลองที่ 2	95.2	95.2	53.3	110.4	101.6	91.1	22.1
จุดทดลองที่ 3	95.2	60.9	72.4	81.2	225.9	107.1	67.6
รูปแบบฝาย 1:4							
จุดทดลองที่ 1	130.1	93.9	146.4	262.5	139.9	154.6	63.7
จุดทดลองที่ 2	135.0	134.5	278.2	224.5	149.7	184.4	64.3
จุดทดลองที่ 3	157.8	132.0	263.5	315.6	231.0	220.0	75.4
รูปแบบฝาย 1:6							
จุดทดลองที่ 1	68.3	58.6	81.3	93.2	69.9	74.3	13.3
จุดทดลองที่ 2	55.1	91.1	68.3	77.7	44.0	67.2	18.5
จุดทดลองที่ 3	58.6	48.8	61.8	64.7	57.0	58.2	6.0
หลังการบำบัด							
รูปแบบฝาย 1:2							
จุดทดลองที่ 1	91.4	53.3	49.5	88.9	79.9	72.6	19.9
จุดทดลองที่ 2	72.4	57.1	45.7	99.8	76.2	70.2	20.5
จุดทดลองที่ 3	76.2	45.7	68.5	76.2	152.8	83.9	40.5
รูปแบบฝาย 1:4							
จุดทดลองที่ 1	122.0	87.6	136.6	221.2	136.6	140.8	49.2
จุดทดลองที่ 2	107.4	92.7	221.2	205.0	146.4	154.5	57.2
จุดทดลองที่ 3	139.9	107.2	240.7	250.5	169.0	181.5	62.6
รูปแบบฝาย 1:6							
จุดทดลองที่ 1	45.5	45.5	71.6	82.8	59.5	61.0	16.4
จุดทดลองที่ 2	42.3	58.6	61.8	75.1	41.4	55.8	14.2
จุดทดลองที่ 3	55.5	29.3	52.1	59.5	54.4	50.2	12.0

จากตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่าน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยฝายหินเรียงมีค่าซีโอดีลดลง ฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบสามารถบำบัดสารอินทรีย์ด้วยกลไกการทำงานของจุลินทรีย์ในไบโอฟิล์มบนผิวก้อนหินได้ โดยเริ่มมีจุลินทรีย์เกิดขึ้นตั้งแต่วันแรกของการทดลอง สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน ในทุกๆ จุดทดลอง วันแรกมีลักษณะเป็นเส้นสายค่อนข้างสั้น เริ่มมีเมือกเคลือบอยู่บริเวณผิวก้อนหิน และในวันที่สองของการทดลองจะมีไบโอฟิล์มเกาะอยู่เต็มพื้นที่ผิวก้อนหิน มีลักษณะเป็นเส้นสายหนามากขึ้น จากการทดลองฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 และรูปแบบ 1:6 ได้รับการเจือจางด้วยน้ำฝน ทำให้มีความเข้มข้นของซีโอดีก่อนบำบัดต่ำกว่าการทดลองรูปแบบ 1:4 เป็นเหตุผลหนึ่งที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียซีโอดีไม่แปรผันตามความลาดชันท้ายฝาย โดยเมื่อฝนตกทำให้ไบโอฟิล์มบนผิวก้อนหินหลุดออกด้วยแรงเฉือนของน้ำ เนื่องจากความเร็วของน้ำที่เพิ่มขึ้นในขณะฝนตก และเมื่อฝนหยุดตกไบโอฟิล์มในส่วนที่เหลือจะปกคลุมด้วยตะกอน (ภาพผนวกที่ ก6) จากการชะล้างของตะกอนบริเวณเหนือการก่อสร้างฝายหินเรียง ซึ่งเป็นสภาวะแวดล้อมทางธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้

2.2.2 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ แสดงดังตารางที่ 8 มีรายละเอียดดังนี้

ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 ของ 3 จุดทดลองเป็นเวลา 5 วัน พบว่า จุดทดลองที่ 1 จุดทดลองที่ 2 และจุดทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 4.1-30.0 9.6-40.0 และ 5.3-32.4 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูลร้อยละ 20.0 ± 10.0 22.6 ± 11.7 และ 17.8 ± 11.9 ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของฝายหินเรียงรูปแบบ 1:4 ของ 3 จุดทดลองเป็นเวลา 5 วัน พบว่า จุดทดลองที่ 1 จุดทดลองที่ 2 และจุดทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 2.4-15.7 2.2-31.1 และ 8.6-26.8 ตามลำดับ จึงมีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูลร้อยละ 7.5 ± 4.9 16.6 ± 11.3 และ 17.3 ± 7.3 ตามลำดับ ในจุดทดลองนี้ไม่ได้รับอิทธิพลจากฝน จึงทำให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดต่ำกว่าฝายหินเรียงรูปแบบอื่นๆ จากผลการทดลองดังกล่าวจึงคาดคะเนได้ว่าระดับความเข้มข้นของซีโอดีมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด เนื่องจาก

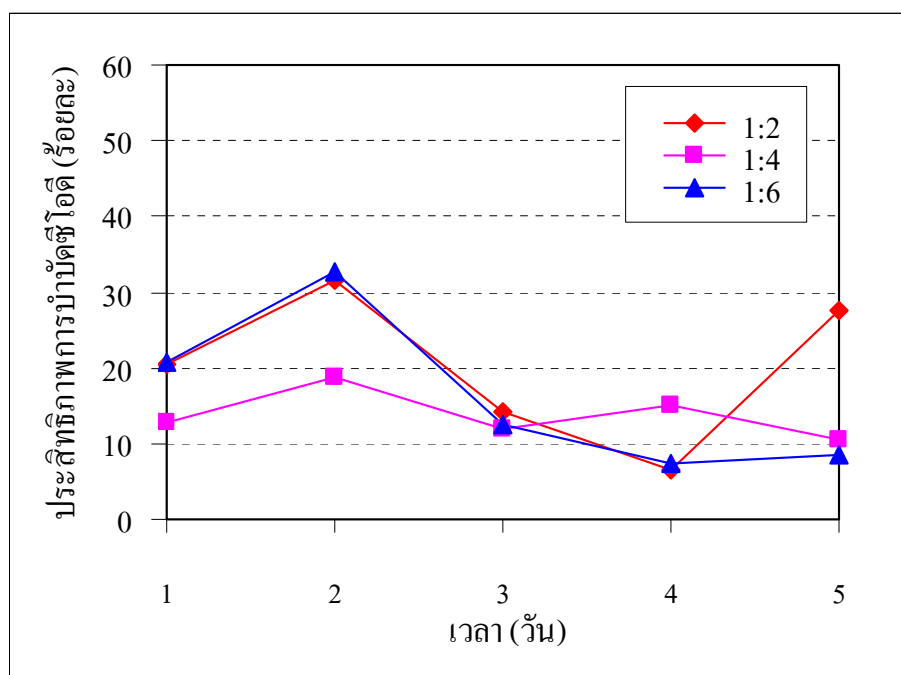
ความเข้มข้นของน้ำเสียเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการกระบวนการเมแทบอลิซึมของไบโอฟิล์มบนก้อนหิน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของชีโอดีเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ

รูปแบบฝาย	เวลา (วัน)					mean	S.D.
	1	2	3	4	5		
รูปแบบฝาย 1:2							
จุดทดลองที่ 1	17.2	30.0	23.5	4.1	25.1	20.0	10.0
จุดทดลองที่ 2	24.0	40.0	14.3	9.6	25.0	22.6	11.7
จุดทดลองที่ 3	20.0	25.0	5.3	6.2	32.4	17.8	11.9
mean	20.4	31.7	14.4	6.6	27.5	20.1	7.7
S.D.	3.4	7.6	9.1	2.8	4.2	5.4	2.4
รูปแบบฝาย 1:4							
จุดทดลองที่ 1	6.2	6.7	6.7	15.7	2.4	7.5	4.9
จุดทดลองที่ 2	20.5	31.1	20.5	8.7	2.2	16.6	11.3
จุดทดลองที่ 3	11.3	18.8	8.6	20.6	26.8	17.3	7.3
mean	12.7	18.9	11.9	15.0	10.5	13.8	2.5
S.D.	7.2	12.2	7.5	6.0	14.2	9.4	3.0
รูปแบบฝาย 1:6							
จุดทดลองที่ 1	33.4	22.4	11.9	11.2	14.9	18.7	9.3
จุดทดลองที่ 2	23.2	35.7	9.5	3.4	5.9	15.5	13.6
จุดทดลองที่ 3	5.3	40.0	15.7	8.0	4.6	14.7	14.8
mean	20.6	32.7	12.4	7.5	8.5	16.3	8.3
S.D.	14.2	9.2	3.1	3.9	5.6	7.2	3.6

ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียงรูปแบบ 1:6 ของ 3 จุดทดลองเป็นเวลา 5 วัน พบว่า จุดทดลองที่ 1 จุดทดลองที่ 2 และจุดทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 11.2-33.4 3.4-35.7 และ 4.6-40.0 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูลร้อยละ 18.7 ± 9.3 15.5 ± 13.6 และ 14.7 ± 14.8 ตามลำดับ จากการทดลองกล่าวได้ว่า ความยาวของฝายไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีในน้ำเสียของเทศบาลตำบลห้วยยอด

จากตารางที่ 8 ฝ่ายหินเรียงรูปแบบ 1:2 1:4 และ 1:6 ในทุกจุดทดลองมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 6.6-31.7 10.5-18.9 และ 7.5-32.7 ตามลำดับ ฝ่ายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบ สามารถบำบัดซีโอดีได้สูงสุดในวันที่ 2 ของการทดลอง คิดเป็นร้อยละ 31.7 18.9 และ 32.7 ตามลำดับ เนื่องจากในวันที่ 2 เป็นช่วงที่ไบโอฟิล์มประเภทเส้นสายมีเส้นใยค่อนข้างยาว เกาะติดกับผิวก้อนหินอยู่เป็นจำนวนมาก จึงบำบัดสารอินทรีย์ได้ดี สำหรับฝ่ายหินเรียงรูปแบบ 1:2 มีประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นในวันที่ 5 เนื่องจากก่อนหน้านั้นในวันที่ 3 ของการทดลองมีฝนตก ทำให้น้ำในห้วยปลัดแก้วมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ความเร็วน้ำจึงเพิ่มขึ้นด้วย แรงเฉือนของน้ำทำให้ ไบโอฟิล์มหลุดออก ทำให้ในวันที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีลดลงอย่างมาก แต่เนื่องจากการทดลองมีน้ำเสียไหลเข้าและออกจากฝายอยู่ตลอดเวลาจึงทำให้ไบโอฟิล์มชุดใหม่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ประกอบกับในวันที่ 4 น้ำเสียไหลผ่านฝาย ซึ่งไหลในลักษณะแตกกระจาย เนื่องจากการกระทบหินด้านท้ายฝาย ซึ่งฝ่ายหินเรียงรูปแบบ 1:2 ทำมุมตกกระทบมากกว่าฝายรูปแบบ 1:4 และ 1:6 ทำให้สามารถเติมอากาศให้ฝ่ายหินเรียงได้มาก จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 5 ของการทดลอง (ภาพที่ 17) น้ำที่ไหลเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วในลักษณะปั่นป่วน (turbulence) มีการเติมอากาศลงในน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นจึงคาดคะเนได้ว่าลักษณะของความลาดชันด้านท้ายฝายรูปแบบ 1:2 จะมีการเพิ่มเติมอากาศเข้าระบบบำบัดน้ำเสียด้วยฝ่ายหินเรียงได้มากกว่ารูปแบบอื่นๆ



ภาพที่ 17 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของฝ่ายหินเรียง 3 รูปแบบ ของทั้ง 3 จุดทดลอง

2.2.3 การทดสอบความแตกต่างทางสถิติของค่าซีไอดีก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียง 3 รูปแบบ

การทดสอบความแตกต่างทางสถิติของค่าซีไอดีก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียง 3 รูปแบบ เป็นเวลา 5 วัน ในทุกจุดทดลอง ด้วยวิธี paired t test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบมีค่าซีไอดีก่อนและหลังการบำบัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทุกจุดทดลอง แสดงให้เห็นว่าฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบ มีความสามารถในการลดปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีได้ แสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของซีไอดีก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียง 3 รูปแบบ ในทุกจุดทดลอง

รูปแบบ ฝาย	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
				Lower	Upper			
1:2	20.5533	17.4638	4.5091	10.8822	30.2245	4.558	14	0.000
1:4	27.3733	21.3221	5.5054	15.5655	39.1811	4.972	14	0.000
1:6	10.9000	8.5076	2.1967	6.1886	15.6114	4.962	14	0.000

2.2.4 ความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ

การเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way analysis of variance) เพื่อการเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ พบว่า ฝายหินเรียงแต่ละรูปแบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 (เนื่องจากค่า $P = 0.269$ มีค่ามากกว่า $\alpha \text{ level} = 0.05$) แสดงในตารางผนวกที่ ข1

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียง
3 รูปแบบ

แหล่งความแปรปรวน	ฝายหินเรียงที่มีความลาดชันท้ายฝาย		
	1:2	1:4	1:6
ระหว่างกลุ่มจุดทดลอง	0.232 ^{ns}	2.148 ^{ns}	0.138 ^{ns}
ระหว่างกลุ่มเวลาทดลอง (วัน)	8.441 [*]	0.326 ^{ns}	4.813 [*]

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 10 และตารางผนวกที่ ข2-ข4 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียงแต่ละรูปแบบระหว่างจุดทดลอง พบว่า ทั้ง 3 จุดทดลองมีประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุดทดลองทั้ง 3 จุดทดลองไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียงแต่ละรูปแบบ ทั้งนี้เนื่องจากทั้ง 3 จุดทดลองมีแหล่งกำเนิดของน้ำเสียที่คล้ายคลึงกัน โดยมาจากแหล่งชุมชน บ้านเรือน ร้านค้า ร้านอาหาร เป็นส่วนใหญ่ และมีค่าอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน จึงทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีไม่แตกต่างกันในทุกจุดทดลอง เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบ ระหว่างวันที่ทำการทดลอง (ตารางที่ 10 และตารางผนวกที่ ข5-ข7) พบว่า ฝายหินเรียงที่มีความลาดชันท้ายฝาย 1:2 และ 1:6 มีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีแต่ละวันที่ทำการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทั้งนี้ในการทดลองฝายหินเรียงทั้ง 2 รูปแบบ มีค่าชีโอดีก่อนบำบัดอยู่ในระดับที่ใกล้เคียง ส่วนการทดลองฝายหินเรียงที่มีความลาดชันท้ายฝาย 1:4 ที่มีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีแต่ละวันที่ทำการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งมีค่าชีโอดีสูงตลอดระยะเวลาของการทดลอง และมีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำกว่าฝายหินเรียงรูปแบบอื่นๆ ในทุกๆ วัน

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียงภายในแต่ละจุดทดลอง ของฝายหินเรียงแต่ละรูปแบบ ก็พบว่า ทั้ง 3 จุดทดลองมีประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 11) โดยประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีระหว่างวันที่ทำการทดลอง (ตารางที่ 12) พบว่า ฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 และ 1:6 มีค่าเฉลี่ยของการบำบัดชีโอดี

สูงสุดในวันที่ 2 ของการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับวันที่ 3 และวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่วันที่ 3 และ 4 ของการทดลองประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงอย่างมากซึ่งเกิดจากการอุดตันของตะกอนและสารแขวนลอย ทำให้น้ำเสียไหลผ่านฝายส่วนใหญ่ ทำให้สัมผัสกับชั้นฟิล์มบนผิวก้อนหินได้น้อย ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีลดลง สำหรับการทดลองบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียงรูปแบบ 1:4 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีในแต่ละวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีน้อยกว่าฝายหินเรียงรูปแบบอื่นๆ โดยสามารถบำบัดชีโอดีได้สูงสุดในวันที่ 1 ของการทดลองเท่านั้น เนื่องจากความเข้มข้นของชีโอดีที่ค่อนข้างสูง ไบโอฟิล์มจึงพัฒนาตัวเองได้ดีตั้งแต่วันแรกของการทดลอง แต่หลังจากนั้นเมื่อเกิดปัญหาการอุดตัน มีตะกอนทับถมระหว่างช่องว่างของชั้นหิน ทำให้น้ำเสียไม่สามารถสัมผัสกับไบโอฟิล์มได้โดยตรงและไหลผ่านฝายไป จนกระทั่งไบโอฟิล์มเกิดภาวะขาดแคลนอาหารและตายลงในที่สุด

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียงแต่ละรูปแบบในแต่ละจุดทดลอง

รูปแบบฝายหินเรียง	จุดทดลอง		
	จุดทดลองที่ 1	จุดทดลองที่ 2	จุดทดลองที่ 3
รูปแบบ 1:2	19.983 ^a	22.577 ^a	17.756 ^a
รูปแบบ 1:4	7.544 ^a	16.588 ^a	17.250 ^a
รูปแบบ 1:6	18.740 ^a	15.538 ^a	14.710 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวนอนเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

สรุปได้ว่าฝายหินเรียงทุกรูปแบบสามารถบำบัดค่าชีโอดีได้ เนื่องจากภายหลังการเดินระบบบำบัดแล้วในทุกจุดทดลองมีค่าชีโอดีลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบสามารถบำบัดชีโอดีได้ในระดับหนึ่ง ถึงแม้ว่าฝายหินเรียงแต่ละรูปแบบจะมีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีไม่แตกต่างกัน แต่แนวโน้มของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีแสดงให้เห็นว่าฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 มีความเป็นไปได้ในการใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอดมากที่สุด ทั้งนี้ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียงแต่ละรูปแบบไม่ขึ้นอยู่กับความลาดชันท้าย

ฝาย แต่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำเสียและระยะเวลาในการบำบัดซึ่งมีผลต่อการอุดตัน จึงเลือกฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 เพื่อใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียงแต่ละรูปแบบที่ระยะเวลาต่างกัน

รูปแบบฝายหินเรียง	เวลา (วัน)				
	1	2	3	4	5
รูปแบบ 1:2	20.414 ^{bc}	31.667 ^c	14.359 ^{ab}	6.619 ^a	27.469 ^c
รูปแบบ 1:4	12.680 ^a	18.860 ^a	11.943 ^a	15.020 ^a	10.467 ^a
รูปแบบ 1:6	20.633 ^{ab}	32.663 ^b	12.383 ^a	7.517 ^a	8.450 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

2.3 ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ

ค่าบีโอดีนิยมใช้เพื่อวัดความสกปรกของน้ำเสียชุมชน เนื่องจากการวัดค่าบีโอดีจะบ่งชี้ถึงปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีก๊าซออกซิเจน ถ้าค่าบีโอดีแหล่งน้ำในใดมีค่าสูงแสดงว่าแหล่งน้ำนั้นมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายอยู่มาก แสดงถึงความสกปรกของน้ำมีมากเช่นเดียวกัน จากการวัดค่าบีโอดีเบื้องต้นในห้วยปลัดแก้วในทั้งสองฤดูกาลมีค่าบีโอดีอยู่ในระดับที่เกินกว่าค่ามาตรฐาน เมื่อทดลองใช้ระบบฝายหินเรียงบำบัดชีโอดีด้วยฝายหินเรียงแต่ละแบบ ได้ผลการทดลองดังนี้

2.3.1 ค่าบีโอดีก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียง 3 รูปแบบ

ผลการวิเคราะห์ค่าบีโอดีในน้ำเสียก่อนบำบัดด้วยฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 จำนวน 3 จุดทดลองเป็นเวลา 5 วัน พบว่า จุดทดลองที่ 1 จุดทดลองที่ 2 และจุดทดลองที่ 3 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 42.0-96.0 48.0-72.0 และ 66.0-84.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 64.0 ± 28.4 62.0 ± 12.5 และ 74.0 ± 9.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำเสียหลังการบำบัดมีค่า

บีโอคืออยู่ในช่วง 24.0-84.0 24.0-66.0 และ 42.0-66.0 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 52.0 ± 30.2 46.0 ± 21.1 และ 58.0 ± 13.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 13)

ผลการวิเคราะห์ค่าบีโอดีในน้ำเสียก่อนบำบัดด้วยฝายหินเรียงรูปแบบ 1:4 จำนวน 3 จุดทดลอง พบว่า จุดทดลองที่ 1 จุดทดลองที่ 2 และจุดทดลองที่ 3 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 66.0-114.0 84.0-126.0 และ 78.0-150.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 88.0 ± 24.3 106.0 ± 21.1 และ 116.0 ± 36.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำเสียหลังการบำบัดมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 54.0-102.0 42.0-108.0 และ 66.0-132.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 76.0 ± 24.3 82.0 ± 35.2 และ 102.0 ± 33.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 13)

ผลการวิเคราะห์ค่าบีโอดีในน้ำเสียก่อนบำบัดด้วยฝายหินเรียงรูปแบบ 1:6 จำนวน 3 จุดทดลอง พบว่า จุดทดลองที่ 1 จุดทดลองที่ 2 และจุดทดลองที่ 3 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 42.0-60.0 30.0-66.0 และ 54.0-60.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 50.0 ± 9.2 50.0 ± 18.3 และ 56.0 ± 3.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำเสียการบำบัดมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 30.0-36.0 18.0-54.0 และ 36.0-42.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 34.0 ± 3.5 34.0 ± 18.3 และ 38.0 ± 3.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 ค่าบีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียง 3 รูปแบบ

จุดสร้างฝาย	เวลา (วัน)			mean	S.D.
	1	3	5		
ก่อนการบำบัด					
รูปแบบฝาย 1:2					
จุดทดลองที่ 1	96.0	42.0	54.0	64.0	28.4
จุดทดลองที่ 2	72.0	48.0	66.0	62.0	12.5
จุดทดลองที่ 3	84.0	66.0	72.0	74.0	9.2
รูปแบบฝาย 1:4					
จุดทดลองที่ 1	66.0	84.0	114.0	88.0	24.3
จุดทดลองที่ 2	84.0	126.0	108.0	106.0	21.1
จุดทดลองที่ 3	78.0	150.0	120.0	116.0	36.2

ตารางที่ 13 (ต่อ)

จุดสร้างฝาย	เวลา (วัน)			mean	S.D.
	1	3	5		
ก่อนบำบัด (ต่อ)					
รูปแบบฝาย 1:6					
จุดทดลองที่ 1	48.0	60.0	42.0	50.0	9.2
จุดทดลองที่ 2	54.0	66.0	30.0	50.0	18.3
จุดทดลองที่ 3	54.0	60.0	54.0	56.0	3.5
หลังการบำบัด					
รูปแบบฝาย 1:2					
จุดทดลองที่ 1	84.0	24.0	48.0	52.0	30.2
จุดทดลองที่ 2	66.0	24.0	48.0	46.0	21.1
จุดทดลองที่ 3	66.0	42.0	66.0	58.0	13.9
รูปแบบฝาย 1:4					
จุดทดลองที่ 1	54.0	72.0	102.0	76.0	24.3
จุดทดลองที่ 2	42.0	108.0	96.0	82.0	35.2
จุดทดลองที่ 3	66.0	132.0	108.0	102.0	33.4
รูปแบบฝาย 1:6					
จุดทดลองที่ 1	36.0	30.0	36.0	34.0	3.5
จุดทดลองที่ 2	30.0	54.0	18.0	34.0	18.3
จุดทดลองที่ 3	42.0	36.0	36.0	38.0	3.5

จากตารางที่ 13 พบว่า ในทุกจุดทดลองมีค่าบีโอดีเฉลี่ยก่อนบำบัดด้วยฝายหินเรียงที่มีความลาดชันท้ายฝาย 1:2 1:4 และ 1:6 อยู่ในช่วงพิสัย 62.0-74.0 88.0-116.0 และ 50.0-56.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่าบีโอดีเฉลี่ยหลังการบำบัดอยู่ในช่วงพิสัย 46.0-58.0 76.0-102.0 และ 34.0-38.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเห็นได้ว่าการทดลองของฝายหินเรียงที่มีความลาดชันท้ายฝาย 1:6 ค่าบีโอดีหลังการบำบัดต่ำกว่าการทดลองของฝายแบบอื่นๆ เนื่องจากการทดลองมีฝนตกทำให้น้ำเสียในห้วยปลัดแก้วถูกเจือจางด้วยน้ำฝน ทั้งนี้จากข้อมูลค่าบีโอดีก่อนบำบัดในตารางที่ 13 อาจกล่าวได้ว่า ในสภาวะที่มีค่าบีโอดีต่ำ ฝายหินเรียงสามารถบำบัดค่าบีโอดีได้ดี และมีประสิทธิภาพการบำบัด

ขึ้นอยู่กับความยาวของตัวฝายหินเรียง แต่ไม่เหมาะสมกับช่วงที่มีความเข้มข้นของบีโอดีที่สูง เนื่องจากจะทำให้เกิดปัญหาการอุดตันอย่างรวดเร็ว จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงได้

2.3.2 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียงเพื่อต้องการประเมินความสามารถในการบำบัดน้ำเสียด้วยฝายหินเรียง 3 รูปแบบจากการผลการวิเคราะห์ค่าบีโอดีก่อนเข้าฝายและภายหลังจากน้ำเสียไหลออกจากฝายว่ามีค่าบีโอดีภายหลังออกจากฝายลดลงมากน้อยเพียงใด หากลดลงมากแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียดี ซึ่งผลการศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบ คือ รูปแบบ 1:2 1:4 และ 1:6 ในทุกจุดทดลองในวันที่ 1 วันที่ 3 และ วันที่ 5 แสดงดังตารางที่ 14 มีรายละเอียดดังนี้

ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 จำนวน 3 จุดทดลอง เป็นเวลา 5 วัน พบว่า จุดทดลองที่ 1 จุดทดลองที่ 2 และจุดทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 11.1-42.9 8.3-50.0 และ 8.3-36.4 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูลร้อยละ 22.2 ± 17.9 28.5 ± 20.9 และ 22.0 ± 14.0 ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียงรูปแบบ 1:4 จำนวน 3 จุดทดลอง เป็นเวลา 5 วัน พบว่า จุดทดลองที่ 1 จุดทดลองที่ 2 และจุดทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 5.3-18.2 11.1-50.0 และ 10.0-15.4 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูลร้อยละ 12.6 ± 6.6 25.1 ± 21.6 และ 12.5 ± 2.7 ตามลำดับ

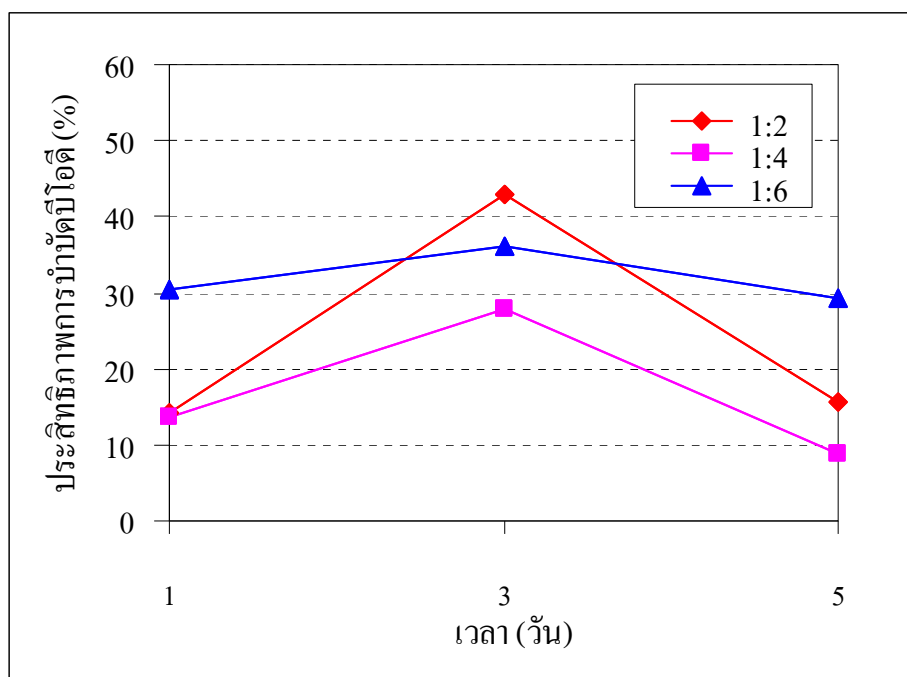
ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียงรูปแบบ 1:6 จำนวน 3 จุดทดลอง เป็นเวลา 5 วัน พบว่า จุดทดลองที่ 1 จุดทดลองที่ 2 และจุดทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 14.3-50.0 18.2-44.4 และ 22.2-40.0 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูลร้อยละ 29.8 ± 18.3 34.2 ± 14.1 และ 31.9 ± 9.0 ตามลำดับ

ในตารางที่ 14 ฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 1:4 และ 1:6 ในทุกจุดทดลอง มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 14.1-43.1 8.8-27.9 และ 29.2-36.1 ตามลำดับ ฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบ สามารถบำบัดบีโอดีได้สูงสุดในวันที่ 3 ของการทดลอง คิดเป็นร้อยละ 43.1 27.9 และ 36.1

ตามลำดับ โดยที่ฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 บำบัดบีโอดีได้สูงสุด รองลงมาคือฝายหินเรียงรูปแบบ 1:6 และ 1:4 ตามลำดับ (ภาพที่ 18) ซึ่งเกษม (2541) กล่าวว่า น้ำที่ไหลเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วในลักษณะปั่นป่วน (turbulence) มีการเติมอากาศลงในน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นจากการทดลองคาดคะเนได้ว่าฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 ซึ่งทำมุมตกกระทบมากกว่าฝายรูปแบบ 1:4 และ 1:6 สามารถเติมอากาศให้ฝายหินเรียงได้ เมื่อน้ำเสียไหลผ่านฝาย ในลักษณะแตกกระจายกระทบกับหินเรียงด้านท้ายฝาย

ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบของทุกจุดทดลอง

จุดทดลอง	เวลา (วัน)			mean	S.D.
	1	3	5		
รูปแบบฝาย 1:2					
จุดทดลองที่ 1	12.5	42.9	11.1	22.2	17.9
จุดทดลองที่ 2	8.3	50.0	27.3	28.5	20.9
จุดทดลองที่ 3	21.4	36.4	8.3	22.0	14.0
mean	14.1	43.1	15.6	24.2	17.6
S.D.	6.7	6.8	10.2	3.7	3.4
รูปแบบฝาย 1:4					
จุดทดลองที่ 1	18.2	14.3	5.3	12.6	6.6
จุดทดลองที่ 2	50.0	14.3	11.1	25.1	21.6
จุดทดลองที่ 3	15.4	12.0	10.0	12.5	2.7
mean	13.5	27.9	8.8	16.7	10.3
S.D.	1.3	19.2	3.1	7.3	10.0
รูปแบบฝาย 1:6					
จุดทดลองที่ 1	25.0	50.0	14.3	29.8	18.3
จุดทดลองที่ 2	44.4	18.2	40.0	34.2	14.1
จุดทดลองที่ 3	22.2	40.0	33.3	31.9	9.0
mean	30.6	36.1	29.2	31.9	13.8
S.D.	12.1	16.3	13.3	2.2	4.7



ภาพที่ 18 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดปีโอดีของฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบ ในทุกจุดทดลอง

2.3.3 การทดสอบความแตกต่างทางสถิติของค่าปีโอดีก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียง 3 รูปแบบ

การทดสอบความแตกต่างทางสถิติของค่าปีโอดีก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียง 3 รูปแบบ ในทุกจุดทดลอง วิเคราะห์โดยใช้ค่าสถิติ t เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ paired t test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าปีโอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ คือ 1:2 1:4 และ 1:6 ในทุกจุดทดลอง พบว่า ค่าปีโอดีก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังตารางที่ 15 ผลการทดลองแสดงว่าฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบในทุกจุดทดลองมีความสามารถในการลดปริมาณสารอินทรีย์ในรูปปีโอดีได้ ซึ่งค่าปีโอดีก่อนและหลังการบำบัดมีความแตกต่างอย่างชัดเจน

ตารางที่ 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของบีโอดีก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียง 3 รูปแบบ ในทุกจุดทดลอง

รูปแบบ ฝาย	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
				Lower	Upper			
1:2	14.6667	7.4162	2.4721	8.9661	20.3673	5.933	8	0.000
1:4	16.0000	10.3923	3.4641	8.0118	23.9882	4.619	8	0.002
1:6	16.6667	7.8102	2.6034	10.6632	22.6702	6.402	8	0.000

2.3.4 การเปรียบเทียบความแตกต่างในการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ

การเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way analysis of variance) เพื่อการเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียง 3 รูปแบบ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีระหว่างรูปแบบฝายหินเรียง 3 รูปแบบ (ตารางผนวกที่ ข8) พบว่า ฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีไม่แตกต่างกันทางสถิติ (เนื่องจากค่า $P = 0.087$ มีค่ามากกว่า $\alpha \text{ level} = 0.05$) และเมื่อการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบระหว่างกลุ่มจุดทดลอง (ตารางที่ 16 และตารางผนวกที่ ข9-ข11) พบว่า ฝายหินเรียงแต่ละรูปแบบ มีประสิทธิภาพการบำบัดของทั้ง 3 จุดทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยฝายหินเรียงทุกรูปแบบมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงสุดในจุดทดลองที่ 2 ของการทดลอง (ตารางที่ 17) ทำให้กล่าวได้ว่า ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีระหว่างรูปแบบฝายหินเรียงไม่ขึ้นอยู่กับจุดทดลอง

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มเวลาทดลอง (ตารางที่ 16 และตารางผนวกที่ ข12-ข14) พบว่า ฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างเวลาทดลอง ($P < 0.05$) สำหรับฝายหินเรียงรูปแบบ 1:4 และ 1:6 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยที่ฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 มีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงกว่าฝายหินเรียงรูปแบบอื่น ซึ่งฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงสุดในวันที่ 3 ของการทดลอง (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียง 3 รูปแบบ

แหล่งความแปรปรวน	รูปแบบฝายหินเรียง		
	1:2	1:4	1:6
ระหว่างกลุ่มจุดทดลอง	0.130 ^{ns}	0.920 ^{ns}	0.072 ^{ns}
ระหว่างกลุ่มเวลาทดลอง (วัน)	12.256 [*]	2.331 ^{ns}	0.203 ^{ns}

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียงแต่ละรูปแบบในแต่ละจุดทดลอง

รูปแบบฝายหินเรียง	จุดทดลอง		
	1	2	3
รูปแบบ 1:2	22.1667 ^a	28.5333 ^a	22.0333 ^a
รูปแบบ 1:4	12.6000 ^a	25.1333 ^a	12.4667 ^a
รูปแบบ 1:6	29.7667 ^a	34.2000 ^a	31.8333 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวนอนเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียงแต่ละรูปแบบที่ระยะเวลาต่างกัน

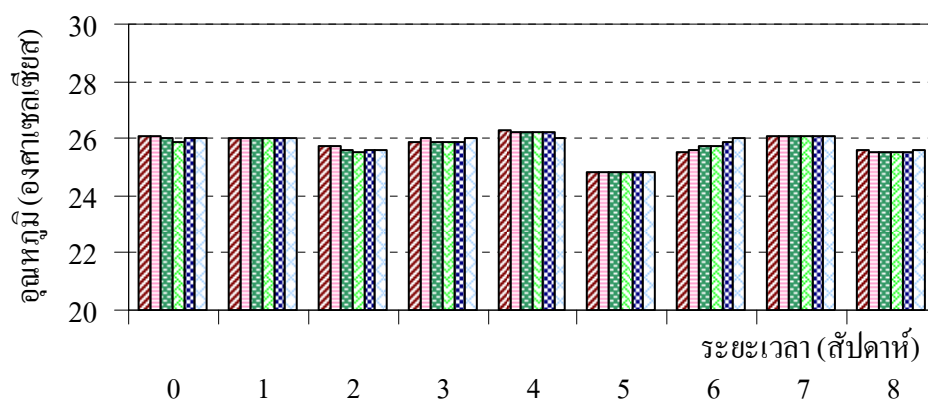
รูปแบบฝายหินเรียง	เวลา (วัน)		
	1	3	5
รูปแบบ 1:2	14.0667 ^a	43.1000 ^b	15.5667 ^a
รูปแบบ 1:4	27.8667 ^a	13.5333 ^a	8.8000 ^a
รูปแบบ 1:6	30.5333 ^a	36.0667 ^a	29.2000 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

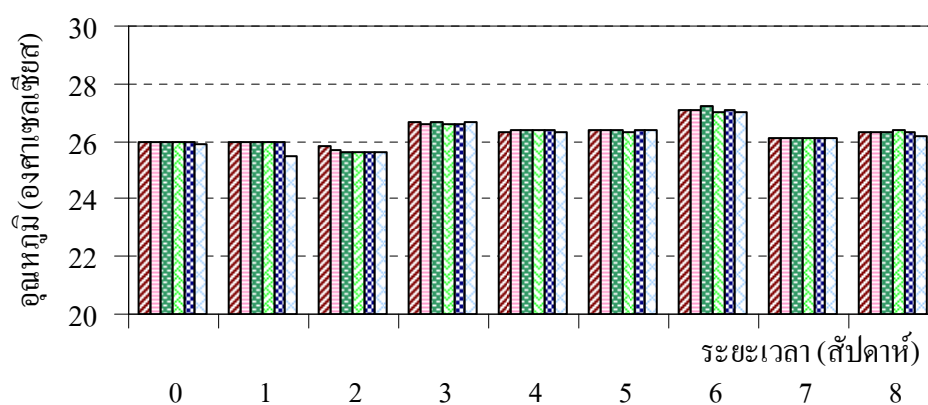
ของน้ำเสียก่อนและหลังบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง ในแต่ละฝาย และทั้งชุดทดลอง เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

3.1 อุณหภูมิ

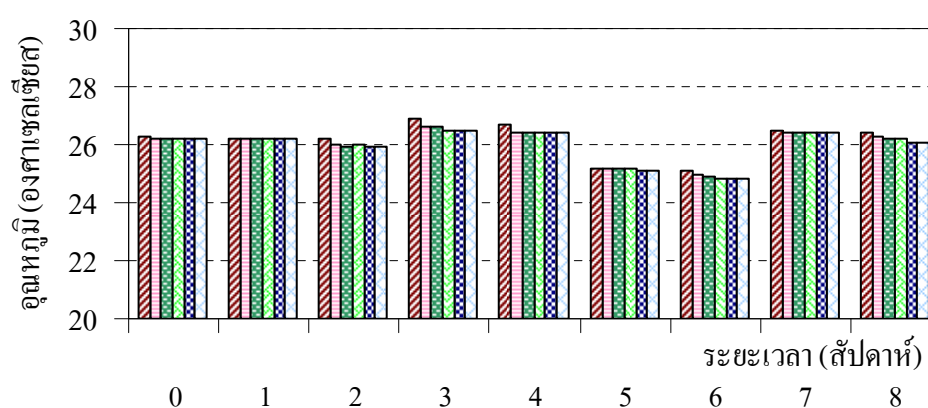
จากผลการศึกษาอุณหภูมิของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝาย ต่อเนื่อง จำนวน 3 ชุดทดลอง ที่มีแหล่งกำเนิดน้ำเสียแตกต่างกัน จากการทดลองเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 ชุดทดลองมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบ โดยอุณหภูมิก่อนการบำบัดอยู่ในช่วง 24.8-26.3 25.8-27.1 และ 25.1-26.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายตัวของข้อมูล เท่ากับ 25.8 ± 0.4 26.3 ± 0.4 และ 26.2 ± 0.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ภายหลังจากการบำบัดมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24.8-26.0 25.5-27.0 และ 24.8-26.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยและการกระจายตัวของข้อมูลเท่ากับ 25.8 ± 0.4 26.2 ± 0.5 และ 26.0 ± 0.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ ก1) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของน้ำเสียทั้งก่อนและหลังการบำบัดมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในทุกสัปดาห์ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศภายนอกเป็นปัจจัยสำคัญ ส่วนแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแต่ละสัปดาห์ จะเห็นว่าในทุกชุดทดลองมีอุณหภูมิต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 5 ของการทดลอง (ภาพที่ 19) เนื่องจากในขณะเก็บข้อมูลอุณหภูมิของสัปดาห์นี้ (ในช่วงการเก็บตัวอย่างเวลา 8.30-9.30 น.) บรรยากาศโดยรอบมีดีดริ่ม ถูกปกคลุมด้วยเมฆ และมีแสงแดดน้อย ถือว่าอุณหภูมิทั้งก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง เป็นไปตามธรรมชาติตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ตารางผนวกที่ ก1) สอดคล้องกับที่สันทัด (2549) ได้กล่าวว่า น้ำเสียในประเทศไทยและประเทศในแถบเอเชียจะมีอุณหภูมิน้ำเสียเฉลี่ยในธรรมชาติในสภาวะปกติประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้อยู่ในช่วงปกติแต่ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างน้ำเสียอาจเป็นเวลาที่เข้าเกินไป แสงแดดยังส่องลงพื้นที่องน้ำได้น้อย ซึ่งอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้ากว่าที่อุณหภูมิสูง เป็นไปตามที่สมศักดิ์ (2528) กล่าวว่า การ สลายตัวของสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับดวงพร (2545) ที่กล่าวว่า อุณหภูมิที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้อยู่ในช่วง 20-50 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ประมาณ 37 องศาเซลเซียส จากที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าหากอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นในตอนกลางวันการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกลุ่มจุลินทรีย์ไบโอฟิล์มจะมีอัตราเพิ่มสูงขึ้นด้วย



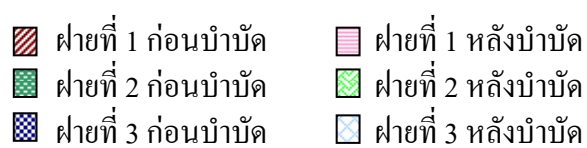
ก. ชุดทดลองที่ 1 ศูนย์สุภาพชุมชน



ข. ชุดทดลองที่ 2 เทศบาลตำบลห้วยยอด



ค. ชุดทดลองที่ 3 โรงผลิตเส้นขนมจีน

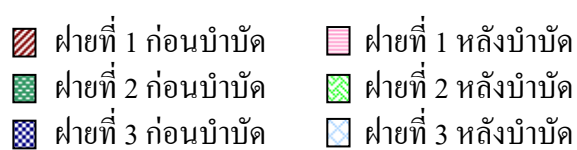
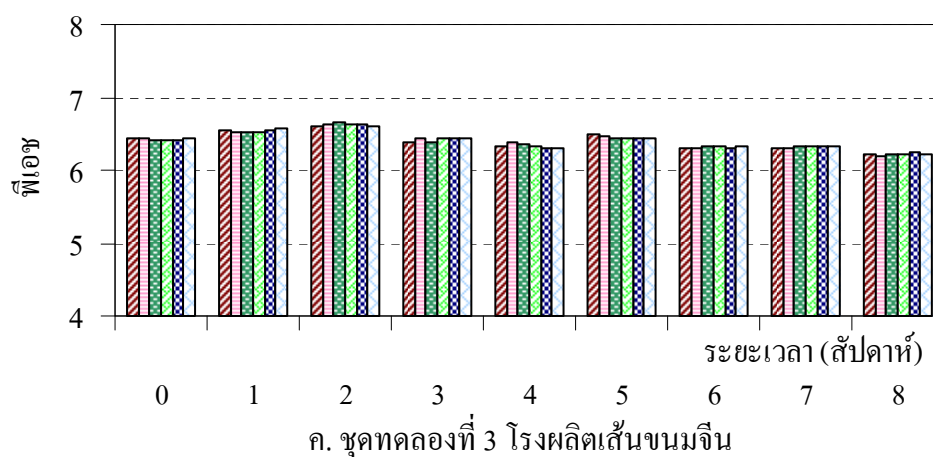
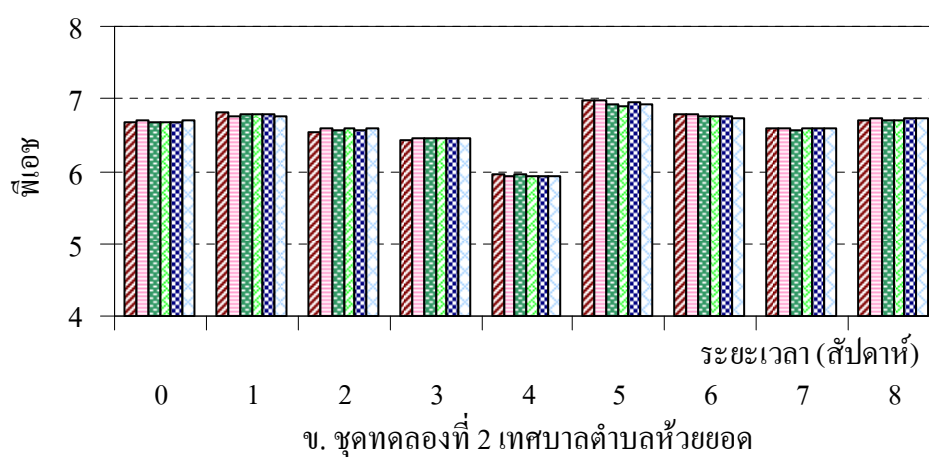
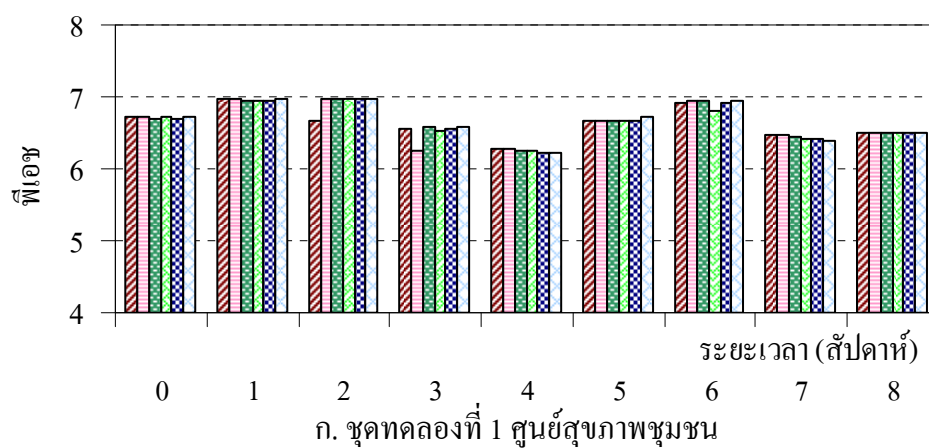


ภาพที่ 19 อุณหภูมิของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

3.2 ฟิเอช

ฟิเอชของน้ำมีความสำคัญอย่างมากในงานวิเคราะห์คุณภาพน้ำ เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติของน้ำตัวอื่นๆ จากผลการทดลองน้ำเสียทั้งก่อนและหลังการบำบัดอยู่ในสภาพเป็นกลางถึงกรดเล็กน้อย ในทั้ง 3 ชุดการทดลอง ผลการศึกษาฟิเอชของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดของแต่ละชุดทดลอง ในระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ชุดทดลองที่ 1 ชุดทดลองที่ 2 และชุดทดลองที่ 3 มีฟิเอชของน้ำเสียก่อนการบำบัดอยู่ในช่วง 6.3-7.0 6.0-7.0 และ 6.2-6.6 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูลเท่ากับ 6.6 ± 0.2 6.6 ± 0.3 และ 6.4 ± 0.1 ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดมีฟิเอชอยู่ในช่วง 6.2-7.0 5.9-6.9 และ 6.2-6.6 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูลเท่ากับ 6.7 ± 0.3 6.6 ± 0.3 และ 6.4 ± 0.1 ตามลำดับ (ภาพที่ 20 และตารางผนวกที่ ค2) จากการทดลองการเปลี่ยนแปลงฟิเอชของน้ำเสียทั้ง 3 ชุดทดลอง ยังอยู่ในช่วงที่แคบ จากการทดลองฟิเอชอยู่ในช่วง 5.9-7.0 และอยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคารในทุกชุดทดลอง ซึ่งมีฟิเอชอยู่ในระหว่าง 5.0-9.0 สอดคล้องกับดวงพร (2545) ที่กล่าวว่าจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียจะเจริญได้ดีที่ฟิเอช 6.0-9.0 ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียด้วยฝายหินเรียงก็เช่นเดียวกันถือว่ามีฟิเอชอยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่ให้อินทรีย์ไบโอฟิล์มย่อยสลายสารอินทรีย์และอนินทรีย์บางชนิดที่อยู่ในน้ำเสียชุมชนทั้งในสภาวะใช้อากาศและไม่ใช้อากาศได้

ถึงแม้ว่าหินปูนที่ใช้ในการก่อสร้างฝายหินเรียง เมื่อละลายน้ำจะทำให้ฟิเอชเพิ่มขึ้น แต่จากผลการทดลองน้ำเสียหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก กล่าวได้ว่าหินปูนที่ใช้ในการก่อสร้างฝายไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าฟิเอชของการบำบัดเสียด้วยฝายหินเรียง หากมีการละลายของหินปูนเกิดขึ้นในภายหลังก็ถือว่าส่งผลดีต่อระบบบำบัด เนื่องจากช่วยปรับสภาพความเป็นกรดให้มีสภาพเป็นกลางมากขึ้น

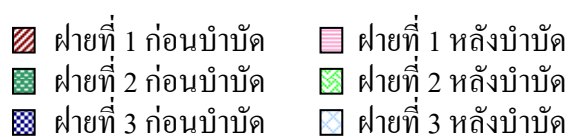
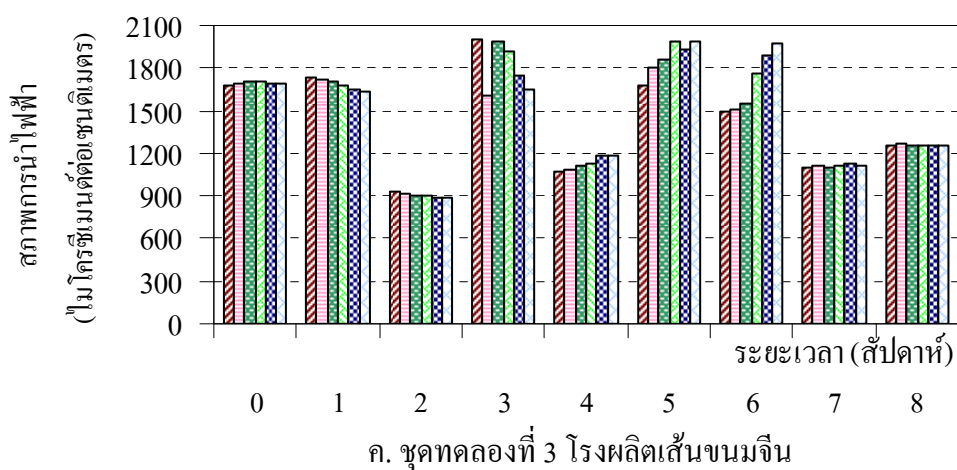
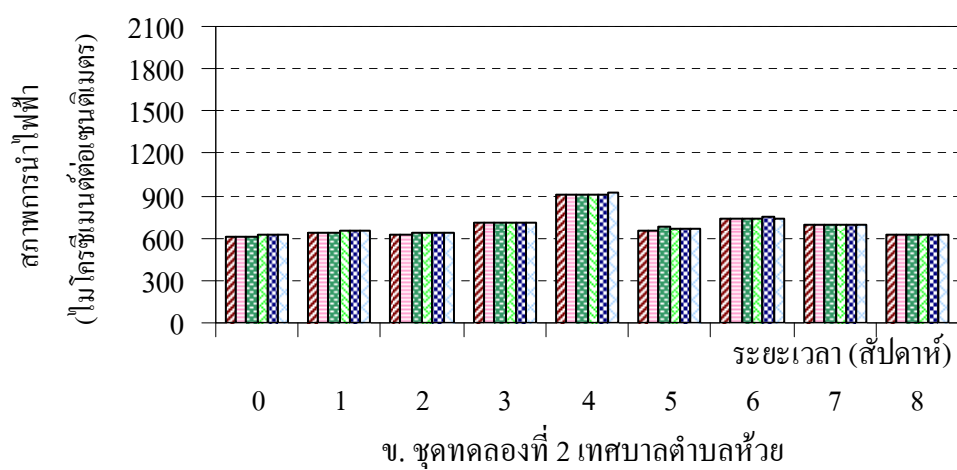
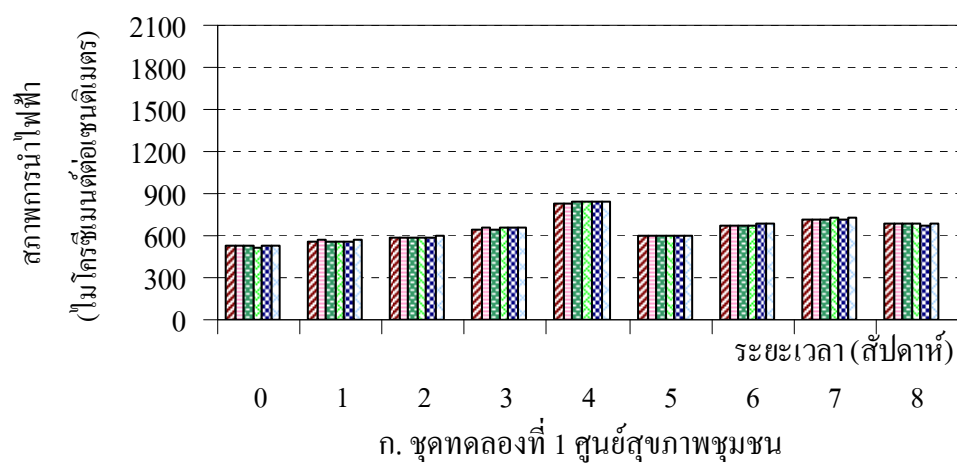


ภาพที่ 20 ฟิชของน้ำเสียน้ำก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝ่ายต่อเนื่อง

3.3 สภาพการนำไฟฟ้า

สภาพการนำไฟฟ้า แสดงถึงความเข้มข้นของไอออนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำ ถือได้ว่าเป็นดัชนีคุณภาพน้ำที่สำคัญตัวหนึ่ง ซึ่งบ่งชี้ถึงความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า สภาพการนำไฟฟ้าจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิของน้ำขณะตรวจวัด ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ พีเอช ชนิดของสารที่มีประจุและความเข้มข้นของสารมีประจุแต่ละชนิด ซึ่งส่วนมากจะเกิดจากสารประกอบอนินทรีย์มากกว่าสารประกอบอินทรีย์ การที่น้ำเสียชุมชนที่มีสภาพการนำไฟฟ้าสูงแสดงว่ามีความเข้มข้นของไอออนต่างๆ อยู่ในน้ำเสียเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะสารประกอบอนินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดอนินทรีย์ ค่างและเกลือ เมื่ออยู่ในน้ำจะแตกตัวให้ไอออน ในทางตรงข้ามกับพวกสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล สารเบนซิน สารเหล่านี้ไม่แตกตัวในน้ำจึงไม่นำไฟฟ้า

จากผลการศึกษาสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ชุดทดลองที่ 1 ชุดทดลองที่ 2 และชุดทดลองที่ 3 มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าก่อนการบำบัดอยู่ในช่วง 523.0-831.0 605.0-909.0 และ 927.0-1,995.0 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูลเท่ากับ 646.2 ± 92.7 688.7 ± 93.7 และ $1,436.7 \pm 365.4$ ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 525.0-840.0 620.0-917.0 และ 887.0-1,994.0 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูลเท่ากับ 651.8 ± 94.5 695.0 ± 92.7 และ $1,485.2 \pm 390.6$ ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 21 และตารางผนวกที่ ค3) จะเห็นได้ว่าสภาพการนำไฟฟ้าภายหลังการบำบัดของทุกชุดทดลองเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เกิดจากการละลายน้ำของหินปูนซึ่งแตกตัวให้ไอออน



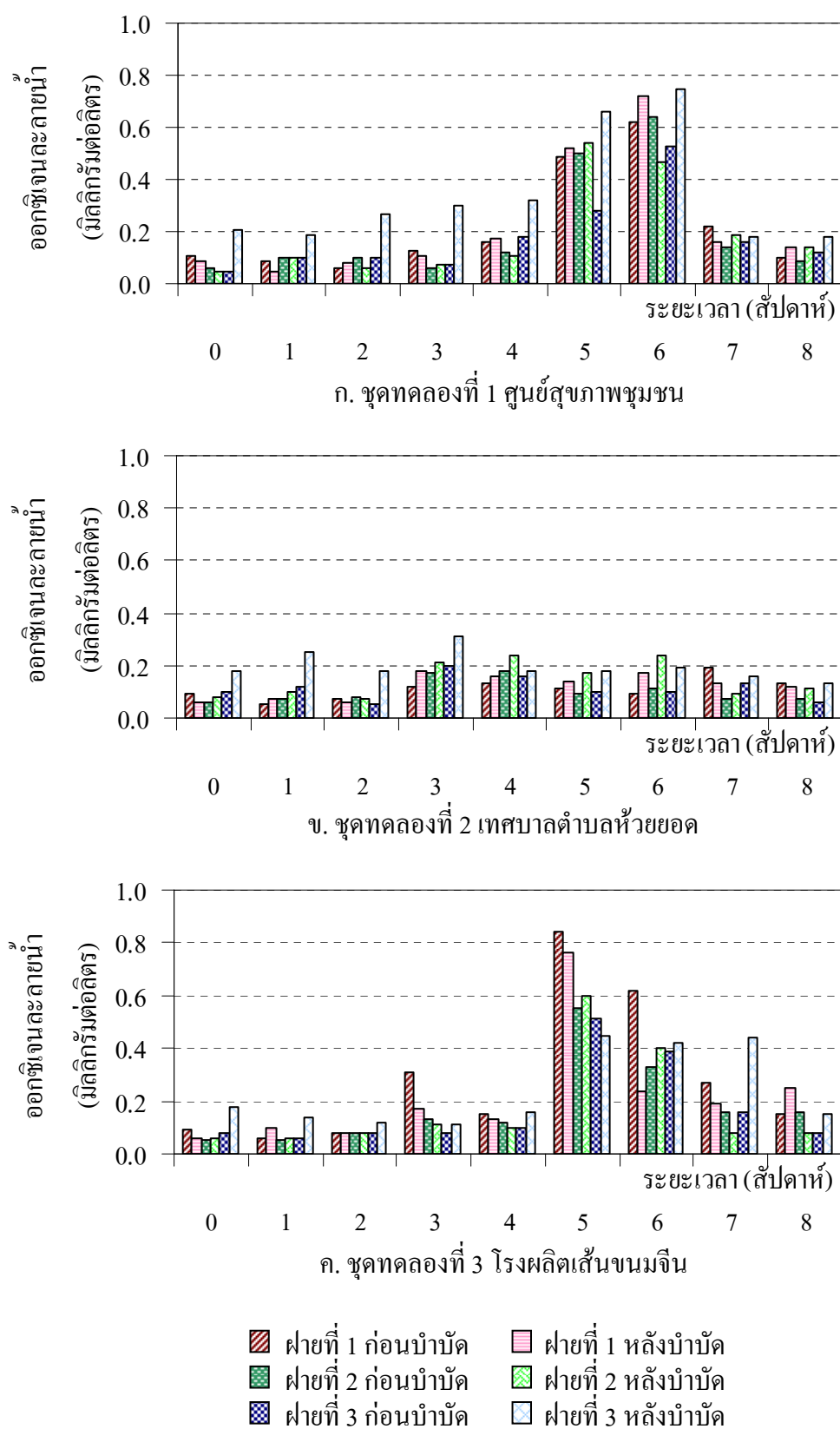
ภาพที่ 21 สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

3.4 ออกซิเจนละลายน้ำ

ปกติออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้นได้จาก 3 ทางด้วยกันคือ ออกซิเจนจากอากาศที่กระแสนลมพัดมาสัมผัสผิวน้ำ ออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชในเวลากลางวัน และกระบวนการด้านชีวเคมีต่างๆ ในน้ำ ในทางกลับกันออกซิเจนละลายน้ำจะลดลงได้จากกระบวนการหายใจของสัตว์น้ำหรือพืชน้ำ ในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และจากการหมุนเวียนน้ำที่มีออกซิเจนต่ำกว่าเข้ามาในระบบ

ผลการศึกษาออกซิเจนละลายน้ำของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง ของแต่ละชุดทดลอง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ชุดทดลองที่ 1 ชุดทดลองที่ 2 และชุดทดลองที่ 3 มีออกซิเจนละลายน้ำก่อนการบำบัดอยู่ในช่วง 0.1-0.6 0.1-0.2 และ 0.1-0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูลเท่ากับ 0.2 ± 0.2 0.1 ± 0.1 และ 0.3 ± 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดมีออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 0.2-0.8 0.1-0.3 และ 0.1-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูลเท่า 0.3 ± 0.2 0.2 ± 0.0 และ 0.2 ± 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 22 และตารางผนวกที่ ค4)

สำหรับการทดลองครั้งนี้มีออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในทุกชุดทดลอง เนื่องจากน้ำเสียมีความสกปรกสูง (BOD) ออกซิเจนละลายน้ำถูกใช้ไปในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ ตามระยะทางของห้วยปลัดแก้วที่น้ำเสียไหลผ่าน ทำให้ระบบบำบัดด้วยฝายหินเรียงอยู่ในสภาวะแบบกึ่งใช้อากาศ และไม่ใช้อากาศ แต่ภายหลังการบำบัดน้ำเสียด้วยฝายที่ 3 ทั้ง 3 ชุดทดลองมีออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากฝายหินเรียงด้านท้ายฝายมีความลาดชัน เมื่อน้ำเสียไหลผ่านฝาย จะไหลแบบปั่นป่วนเกิดการกระจายตัวของน้ำ ออกซิเจนจากอากาศสัมผัสกับผิวน้ำได้เพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากห้วยปลัดแก้วมีหินก่อแบบยาแนวสูงประมาณ 1-1.5 เมตร จึงทำให้ออกซิเจนจากอากาศสัมผัสกับผิวน้ำได้น้อยกว่าปกติ ทำให้ภายหลังการบำบัดมีออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

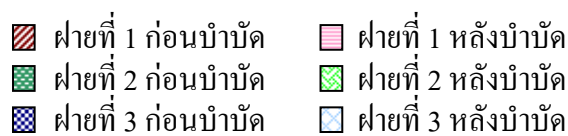
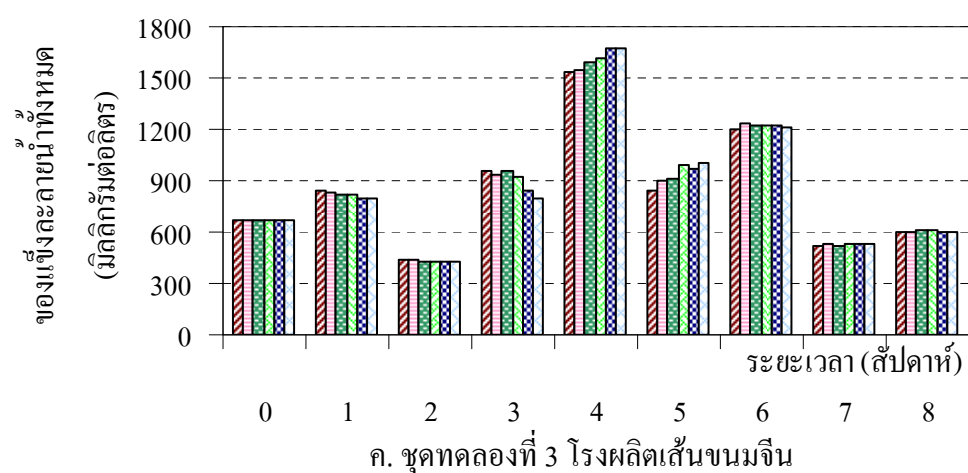
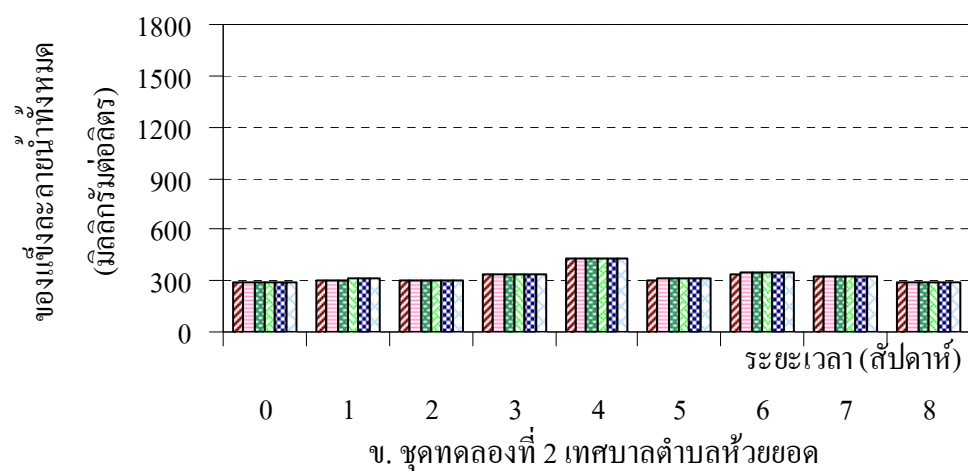
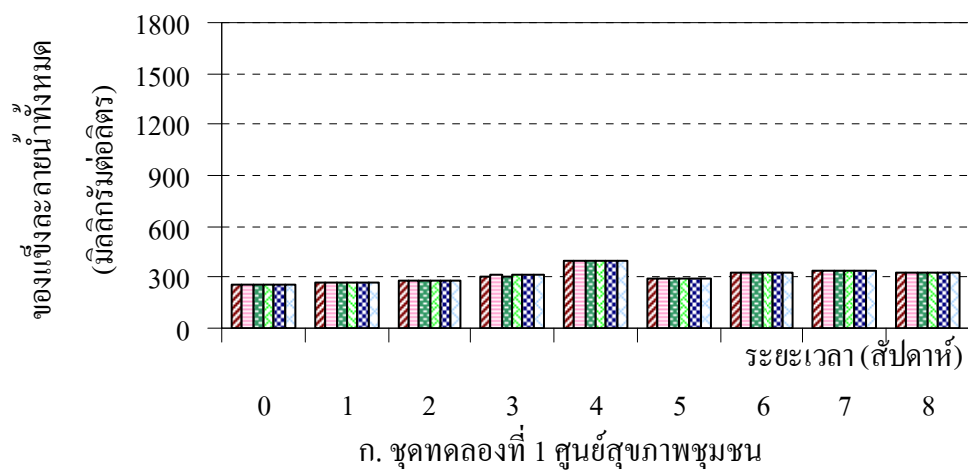


ภาพที่ 22 ออกซิเจนละลายน้ำของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

3.5 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

การศึกษาของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่องของแต่ละชุดทดลอง ตลอดจนการทดลองเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ชุดทดลองที่ 1 ชุดทดลองที่ 2 และชุดทดลองที่ 3 มีของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเสียก่อนการบำบัดอยู่ในช่วง 256.0-395.0 290.0-430.0 และ 442.0-1,537.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูลเท่ากับ 309.3 ± 43.8 325.1 ± 43.6 และ 846.3 ± 349.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ภายหลังการบำบัด มีของแข็งละลายน้ำทั้งหมดอยู่ในช่วง 259.0-399.0 295.0-435.0 และ 424.0-1,676.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูลเท่า 312.0 ± 43.2 329.0 ± 43.3 และ 857.1 ± 390.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 23 และตารางผนวกที่ ค5)

จากผลการทดลองปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นภายหลังการบำบัด โดยเฉพาะในชุดทดลองที่ 3 มีปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงสุด รองลงมาในชุดทดลองที่ 2 และชุดทดลองที่ 1 มีค่าต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับสภาพการนำไฟฟ้า ทั้งนี้เนื่องจากชุดทดลองที่ 3 รองรับน้ำเสียจากชุมชนและโรงผลิตเส้นขนมจีน มีแป้งเป็นสารประกอบ สามารถละลายน้ำได้ จึงทำให้ในชุดทดลองนี้มีของแข็งละลายน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก ในภาวะที่มีออกซิเจน จุลินทรีย์จะย่อยสลายแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตด้วยกระบวนการ oxidation ได้ แต่เมื่อออกซิเจนมีไม่เพียงพอจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศก็จะย่อยสลายด้วยกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนแทน



ภาพที่ 23 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

3.6 บีโอดี

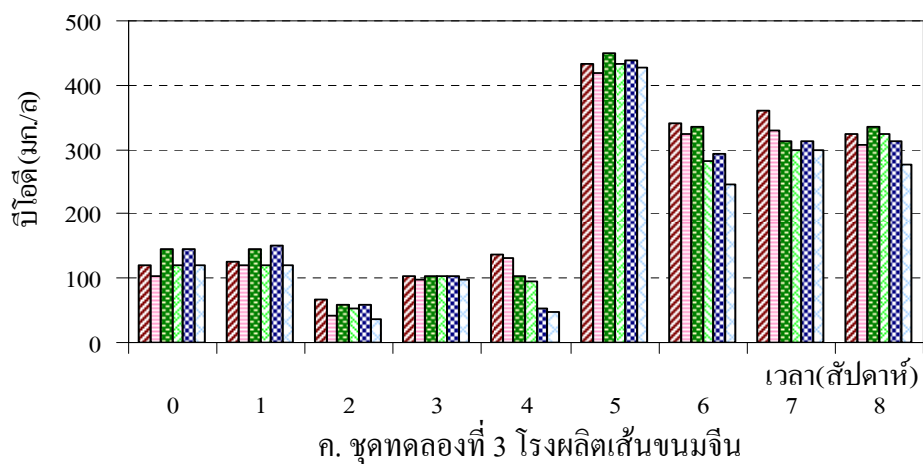
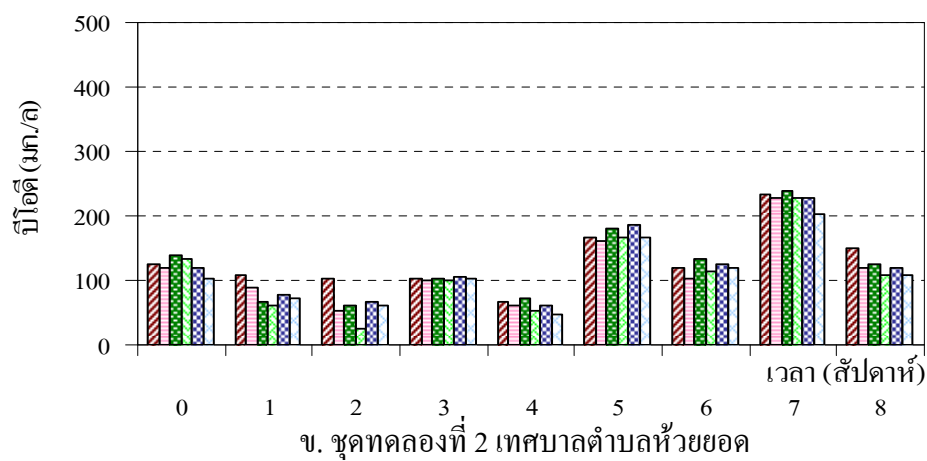
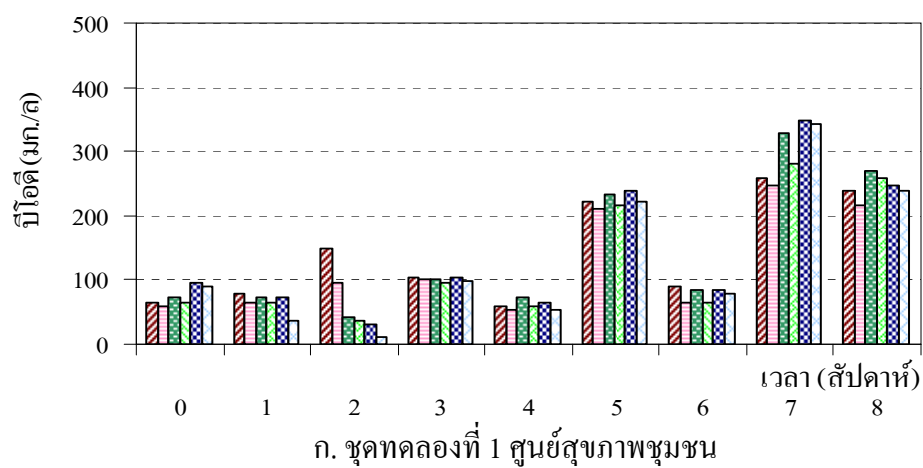
3.6.1 บีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

ก. บีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่องของแต่ละฝาย

การบำบัดบีโอดีของน้ำเสียด้วยฝายหินเรียงแต่ละฝายในชุดทดลองที่ 1 พบว่า บีโอดีของน้ำเสียก่อนการบำบัดด้วยฝายที่ 1 ฝายที่ 2 และฝายที่ 3 เป็นเวลา 8 สัปดาห์ มีค่าอยู่ในช่วง 60.0-258.0 42.0-333.0 และ 30.0-348.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 140.8 ± 79.3 141.8 ± 106.1 และ 143.0 ± 107.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดของแต่ละฝายแล้วบีโอดีอยู่ในช่วง 54.0-246.0 36.0-282.0 และ 12.0-342.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 124.0 ± 77.2 127.3 ± 96.2 และ 130.3 ± 111.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังภาพที่ 24ก และตารางผนวกที่ ค6

การบำบัดบีโอดีของน้ำเสียด้วยฝายหินเรียงแต่ละฝายในชุดทดลองที่ 2 พบว่า บีโอดีของน้ำเสียก่อนการบำบัดด้วยฝายที่ 1 ฝายที่ 2 และฝายที่ 3 เป็นเวลา 8 สัปดาห์ มีค่าอยู่ในช่วง 66.0-234.0 60.0-240.0 และ 60.0-228.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 130.7 ± 48.6 124.2 ± 58.6 และ 121.0 ± 55.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดของแต่ละฝายแล้วบีโอดีอยู่ในช่วง 54.0-228.0 24.0-228.0 และ 48.0-204.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 115.0 ± 53.4 109.8 ± 62.2 และ 109.3 ± 50.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังภาพที่ 24ข และตารางผนวกที่ ค6

การบำบัดบีโอดีของน้ำเสียด้วยฝายหินเรียงแต่ละฝายในชุดทดลองที่ 3 พบว่า บีโอดีของน้ำเสียก่อนการบำบัดด้วยฝายที่ 1 ฝายที่ 2 และฝายที่ 3 เป็นเวลา 8 สัปดาห์ มีค่าอยู่ในช่วง 66.0-432.0 60.0-450.0 และ 54.0-438.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 223.3 ± 138.5 220.8 ± 138.3 และ 207.3 ± 135.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดของแต่ละฝายแล้วบีโอดีอยู่ในช่วง 42.0-420 54.0-432.0 และ 36.0-426.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 208.2 ± 135.7 203.3 ± 132.5 และ 185.7 ± 132.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังภาพที่ 24ค และตารางผนวกที่ ค6



- | | |
|---------------------|---------------------|
| ฝ่ายที่ 1 ก่อนบำบัด | ฝ่ายที่ 1 หลังบำบัด |
| ฝ่ายที่ 2 ก่อนบำบัด | ฝ่ายที่ 2 หลังบำบัด |
| ฝ่ายที่ 3 ก่อนบำบัด | ฝ่ายที่ 3 หลังบำบัด |

ภาพที่ 24 บีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝ่ายต่อเนื่อง

จะเห็นได้ว่าภายหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง แต่ละฝายของทุกชุดทดลองมีค่าบีโอดีลดลง โดยเฉพาะในชุดทดลองที่ 1 ในสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง ทั้ง 3 ฝายมีค่าบีโอดีลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อผ่านการบำบัดด้วยฝายที่ 1 ฝายที่ 2 และฝายที่ 3 แล้ว มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน สำหรับชุดทดลองที่ 2 และชุดทดลองที่ 3 แต่ละฝายสามารถลดค่าบีโอดีแต่ไม่ถึงระดับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ซึ่งกำหนดไว้ว่าบีโอดีต้องไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับชุมชนที่มีประชากรตั้งแต่ 2,500 คนขึ้นไป (กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2534)

ข. บีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่องของแต่ละชุดทดลอง

บีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแต่ละชุดทดลองได้จากค่าบีโอดีของน้ำเสียก่อนการบำบัดของฝายที่ 1 และหลังการบำบัดของฝายที่ 3 ทั้ง 8 สัปดาห์ พบว่า ชุดทดลองที่ 1 ชุดทดลองที่ 2 และชุดทดลองที่ 3 มีค่าบีโอดีก่อนการบำบัดอยู่ในช่วง 60.0-258.0 66.0-234.0 และ 66.0-432.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 140.8 ± 79.3 130.7 ± 48.6 และ 223.3 ± 138.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าบีโอดีของน้ำเสียก่อนบำบัดทั้ง 3 ชุดทดลองสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน โดยที่ชุดทดลองที่ 1 และ 2 มีค่าบีโอดีใกล้เคียงกัน ยกเว้นในชุดทดลองที่ 3 ที่มีค่าบีโอดีสูงกว่าชุดทดลองอื่นๆ เนื่องจากรองรับน้ำเสียจากบ้านเรือน ร้านค้าร้านอาหาร โรงเรียน และมีโรงผลิตเส้นขนมจีน ทำให้จุลินทรีย์ต้องการออกซิเจนในปริมาณสูง เพื่อใช้ในการย่อยแบ่งให้กลายเป็นกลูโคสเพื่อเป็นพลังงานสำหรับการเจริญเติบโต จึงเป็นผลให้ชุดทดลองนี้มีค่าบีโอดีสูง สำหรับน้ำเสียหลังการบำบัดพบว่าทั้ง 3 ชุดทดลองสามารถลดบีโอดีอยู่ในช่วง 12.0-342.0 48.0-204.0 และ 36.0-426.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 130.3 ± 111.4 109.3 ± 50.3 และ 185.7 ± 132.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบต่อเนื่องทั้ง 3 ชุดทดลองยังมีค่าบีโอดีสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน มีเพียงชุดทดลองที่ 1 ในสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลองเท่านั้นที่มีค่าบีโอดีของน้ำเสียหลังการบำบัดอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ซึ่งสามารถลดความสกปรกของน้ำเสียในรูปบีโอดีเหลือเพียง 12 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงดังภาพที่ 24 และตารางตารางผนวกที่ 6

3.6.2 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียงแบบ 3 ฝ่ายต่อเนื่อง

ก. ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝ่ายต่อเนื่องของแต่ละฝ่าย

ชุดทดลองที่ 1 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของน้ำเสียด้วยฝายที่ 1 ฝ่ายที่ 2 และฝายที่ 3 ตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.4-36.0 4.4-21.4 และ 1.7-60.0 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายข้อมูลร้อยละ 13.2 ± 11.3 11.1 ± 5.9 และ 17.7 ± 21.8 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีแต่ละสัปดาห์ พบว่า สัปดาห์ที่ 2 ของการทดลองทั้ง 3 ฝ่ายมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีเฉลี่ยสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 36.8 ± 18.7 โดยฝายที่ 3 มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 60.0 (ตารางที่ 19 และภาพที่ 25ก)

ชุดทดลองที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของน้ำเสียด้วยฝายที่ 1 ฝ่ายที่ 2 และฝายที่ 3 ตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.6-47.1 2.9-60.0 และ 1.7-60.0 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายข้อมูลร้อยละ 13.5 ± 14.2 15.7 ± 18.0 และ 10.0 ± 5.1 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีแต่ละสัปดาห์ พบว่า สัปดาห์ที่ 2 ของการทดลองทั้ง 3 ฝ่ายมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีเฉลี่ยสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 38.7 ± 21.6 โดยฝายที่ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 60.0 (ตารางที่ 19 และภาพที่ 25ข)

ชุดทดลองที่ 3 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของน้ำเสียด้วยฝายที่ 1 ฝ่ายที่ 2 และฝายที่ 3 ตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.8-36.4 1.4-16.7 และ 2.7-40.0 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายข้อมูลร้อยละ 9.6 ± 10.6 8.7 ± 6.3 และ 13.9 ± 11.7 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีแต่ละสัปดาห์ พบว่า สัปดาห์ที่ 2 ของการทดลองทั้ง 3 ฝ่ายมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีเฉลี่ยสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 28.8 ± 13.4 โดยฝายที่ 3 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 40.0 (ตารางที่ 19 และภาพที่ 25ค)

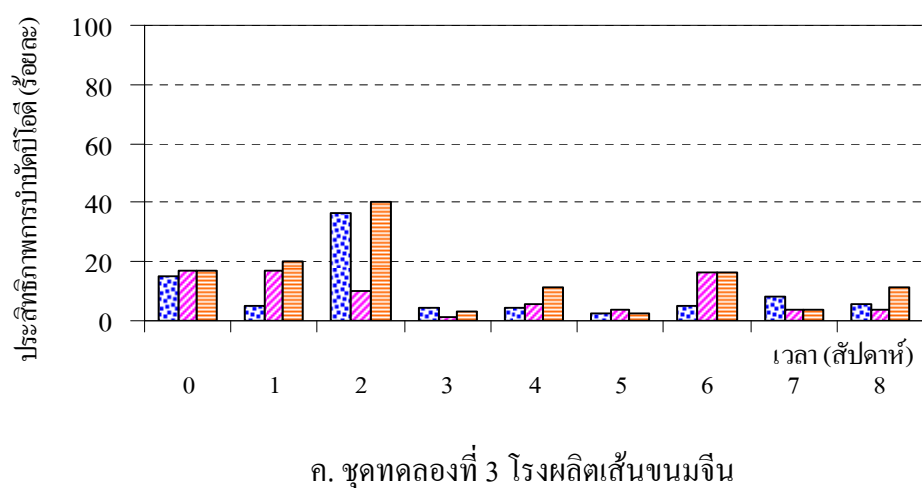
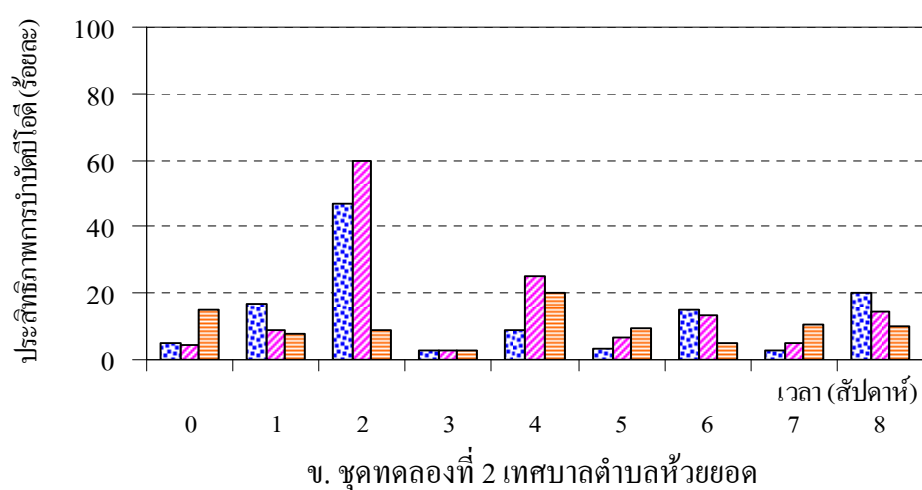
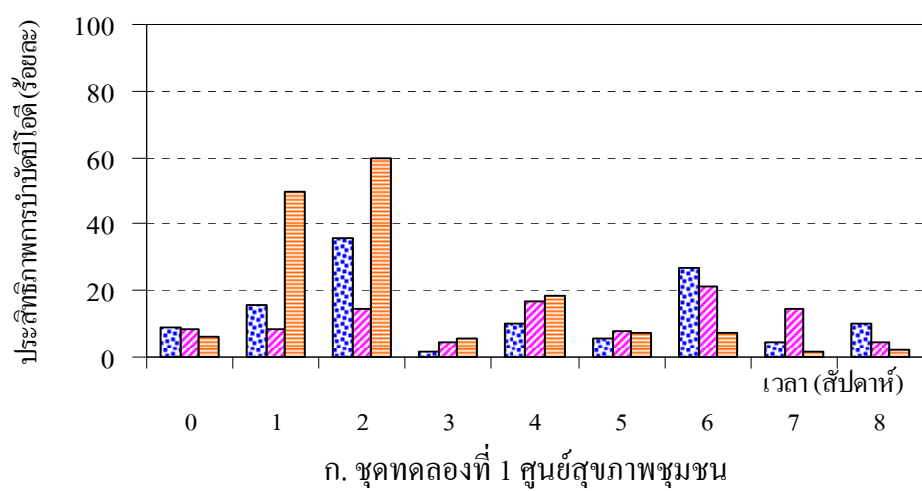
ตารางที่ 19 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี (ร้อยละ) ด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง
ในแต่ละชุดทดลอง

ชุดทดลอง/ ฝายหินเรียง	เวลา (สัปดาห์)									mean	S.D.
	0	1	2	3	4	5	6	7	8		
ชุดทดลองที่ 1	-36.4	53.8	92.0	4.3	10.0	0.0	13.3	-32.6	0.0	11.6	40.0
ฝายที่ 1	9.1	15.4	36.0	1.4	10.0	5.4	26.7	4.7	10.0	13.2	11.3
ฝายที่ 2	8.3	8.3	14.3	4.5	16.7	7.7	21.4	14.5	4.4	11.1	5.9
ฝายที่ 3	6.3	50.0	60.0	5.7	18.2	7.5	7.1	1.7	2.4	17.7	21.8
mean	7.9	24.6	36.8	3.9	14.9	6.9	18.4	7.0	5.6	14.0	13.0
S.D.	1.2	18.2	18.7	1.8	3.6	1.0	8.3	5.5	3.2	2.7	6.6
ชุดทดลองที่ 2	19.0	33.3	41.2	0.0	27.3	0.0	0.0	12.8	28.0	18.0	15.7
ฝายที่ 1	4.8	16.7	47.1	2.9	9.1	3.6	15.0	2.6	20.0	13.5	14.2
ฝายที่ 2	4.3	9.1	60.0	2.9	25.0	6.7	13.6	5.0	14.3	15.7	18.0
ฝายที่ 3	15.0	7.7	9.1	2.9	20.0	9.7	4.8	10.5	10.0	10.0	5.1
mean	8.0	11.1	38.7	2.9	18.0	6.6	11.1	6.0	14.8	13.0	12.4
S.D.	4.9	3.9	21.6	0.0	6.6	2.5	4.5	3.3	4.1	2.4	5.4
ชุดทดลองที่ 3	0.0	4.8	45.5	2.9	65.2	1.4	28.1	16.7	14.8	19.9	22.5
ฝายที่ 1	15.0	4.8	36.4	4.4	4.3	2.8	5.3	8.3	5.6	9.6	10.6
ฝายที่ 2	16.7	16.7	10.0	1.4	5.9	4.0	16.1	3.8	3.6	8.7	6.3
ฝายที่ 3	16.7	20.0	40.0	2.9	11.1	2.7	16.3	3.8	11.5	13.9	11.7
mean	16.1	13.8	28.8	2.9	7.1	3.2	12.6	5.3	6.9	10.7	9.5
S.D.	0.8	6.5	13.4	1.2	2.9	0.6	5.2	2.1	3.4	2.3	2.3

หมายเหตุ ชุดทดลองที่ 1 บริเวณศูนย์สุขภาพชุมชน

ชุดทดลองที่ 2 บริเวณเทศบาลตำบลห้วยยอด

ชุดทดลองที่ 3 บริเวณโรงผลิตเส้นขนมจีน



■ ฝ่ายที่ 1 ■ ฝ่ายที่ 2 ■ ฝ่ายที่ 3

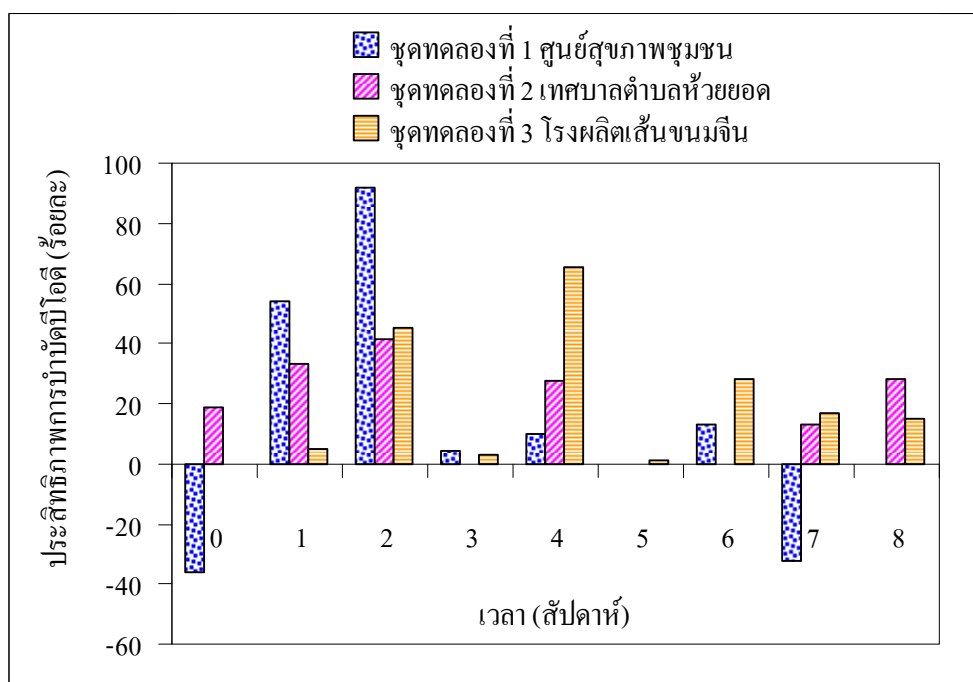
ภาพที่ 25 ประสิทธิภาพการบำบัดมีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝ่ายต่อเนื่อง ของแต่ละฝ่าย

ผลการทดลองข้างต้น (ตารางที่ 19 และภาพที่ 25) สรุปได้ว่า ในชุดทดลองที่ 1 และชุดทดลองที่ 3 ฝ่ายที่ 3 มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีเฉลี่ยสูงสุด คาดคะเนว่าเนื่องจากพื้นที่ทดลองมีความลาดชัน ทำให้ฝ่ายที่ 3 มีความลาดเทด้านท้ายฝ่ายสูงกว่าฝ่ายอื่นๆ เมื่อน้ำไหลผ่านฝ่าย เกิดการกระจายของน้ำ รับออกซิเจนจากอากาศได้มากกว่าฝ่ายอื่น สังเกตจากออกซิเจนละลายน้ำที่เพิ่มสูงขึ้น จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียทำงานได้ดี จากผลการทดลองให้ข้อคิดเห็นว่า ความลาดชันของพื้นที่ทดลองเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝ่ายหินเรียง

ข. ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝ่ายหินเรียงแบบ 3 ฝ่ายต่อเนื่องของแต่ละชุดทดลอง

ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝ่ายหินเรียงแบบ 3 ฝ่ายต่อเนื่องของแต่ละชุดทดลอง ทั้ง 8 สัปดาห์ จะคำนวณจากค่าบีโอดีของน้ำเสียก่อนการบำบัดด้วยฝ่ายที่ 1 และหลังจากการบำบัดด้วยฝ่ายที่ 3 ของแต่ละชุดทดลอง พบว่า ชุดทดลองที่ 1 ชุดทดลองที่ 2 และชุดทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพบำบัดบีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ (-36.4)-92.0 0-41.2 และ 0-65.2 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูลร้อยละ 11.6 ± 40.0 18.0 ± 15.7 และ 19.9 ± 22.5 ตามลำดับ โดยที่ชุดทดลองที่ 1 และชุดทดลองที่ 2 บำบัดบีโอดีได้สูงสุดสัปดาห์ที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 92 และ 41.2 ตามลำดับ สำหรับในชุดทดลองที่ 3 บำบัดบีโอดีได้สูงสุดในสัปดาห์ที่ 4 คิดเป็นร้อยละ 65.2 (ตารางที่ 19 และภาพที่ 26)

ในภาพที่ 26 ในชุดทดลองที่ 1 ของสัปดาห์ 0 และสัปดาห์ที่ 7 ของการทดลอง ค่าบีโอดีหลังการบำบัดมีค่าสูงกว่าก่อนการบำบัดซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพเป็นลบ เนื่องจากชุดทดลองนี้มีความลาดชันสูงกว่าชุดทดลองอื่นๆ ในการทดลองอาจมีโอกาสปนเปื้อนจากกิจกรรมการใช้น้ำในครัวเรือน และกิจกรรมการเลี้ยงสัตว์ ซึ่งอยู่รอบนอกบริเวณชุดทดลอง ประกอบกับในช่วงที่ทำการทดลองมีปริมาณน้ำเสียมาก จึงไหลด้วยความเร็วสูง เกิดจากการกีดขวางของน้ำอย่างรุนแรงบริเวณท้ายฝ่าย ทำให้ดินตะกอนที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนฟุ้งกระจาย น้ำเสียบริเวณท้ายฝ่ายจึงมีลักษณะขุ่นดำ ทำให้จุลินทรีย์ต้องการออกซิเจนจำนวนมากในการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้ ส่งผลให้มีค่าบีโอดีเพิ่มสูงขึ้น



ภาพที่ 26 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝ่ายต่อเนื่อง ของแต่ละชุดทดลอง

3.6.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าบีโอดีและประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝ่ายต่อเนื่อง

ก. การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าบีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝ่ายต่อเนื่อง

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าบีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝ่ายต่อเนื่อง ในแต่ละชุดทดลอง ตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่ามีค่าบีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดในแต่ละฝ่ายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในทุกชุดทดลอง แสดงให้เห็นว่าทุกฝ่ายในทุกชุดทดลองสามารถลดความสกปรกของน้ำเสียในรูปของบีโอดีได้ (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าบีโอดีในน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วย
ฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง โดยการเปรียบเทียบแต่ละฝาย ในแต่ละชุดทดลอง

ชุดทดลอง/ ฝายหินเรียง	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval		t	df	Sig. (2-tailed)
				of the Difference				
				Lower	Upper			
ชุดทดลองที่ 1 ศูนย์สุขภาพชุมชน								
ฝายที่ 1	16.8333	15.9060	5.3020	4.6069	29.0597	3.175	8	.013
ฝายที่ 2	14.5000	13.5831	4.5277	4.0591	24.9409	3.203	8	.013
ฝายที่ 3	12.6667	10.1489	3.3830	4.8655	20.4678	3.744	8	.006
ชุดทดลองที่ 2 เทศบาลตำบลห้วยยอด								
ฝายที่ 1	15.6667	14.9833	4.9944	4.1495	27.1839	3.137	8	.014
ฝายที่ 2	14.3333	9.9247	3.3082	6.7045	21.9621	4.333	8	.003
ฝายที่ 3	11.6667	7.1063	2.3688	6.2043	17.1291	4.925	8	.001
ชุดทดลองที่ 3 โรงผลิตเส้นขนมจีน								
ฝายที่ 1	15.1667	8.7607	2.9202	8.4326	21.9007	5.194	8	.001
ฝายที่ 2	17.5000	15.8035	5.2678	5.3524	29.6476	3.322	8	.011
ฝายที่ 3	21.6667	14.8324	4.9441	10.2655	33.0679	4.382	8	.002

ข. การเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีระหว่างฝายแต่ละฝาย ในทุกชุดทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 21 และตารางผนวกที่ ง1-ง3) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีระหว่างสัปดาห์ของการทดลองพบว่า ในระหว่างการทดลองเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทุกชุดทดลองมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 21 และตารางผนวกที่ ง4-ง6) กล่าวได้ว่าระยะเวลาที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยระบบฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

ตารางที่ 21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียง
แบบ 3 ฝายต่อเนื่อง โดยการเปรียบเทียบระหว่างฝาย และระหว่างสัปดาห์

แหล่งความแปรปรวน	ชุดทดลองที่ 1	ชุดทดลองที่ 2	ชุดทดลองที่ 3
ระหว่างฝาย	0.472 ^{ns}	0.405 ^{ns}	0.712 ^{ns}
ระหว่างครั้งทดลอง (สัปดาห์)	2.678 [*]	3.394 [*]	4.463 [*]

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีระหว่างชุดทดลองในฝายที่ 1 ฝายที่ 2 และฝายที่ 3 พบว่าแต่ละฝายของทั้ง 3 ชุดทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 22) แสดงให้เห็นว่าแต่ละฝายมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีใกล้เคียงกัน ทั้ง 3 ชุดทดลอง ถึงแม้จะมีแหล่งกำเนิดน้ำเสียแตกต่างกันก็ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละฝาย สามารถทำให้คาดคะเนว่าจำนวนของฝายหินเรียงที่จะนำไปประยุกต์กับพื้นที่อื่นๆ ได้

ตารางที่ 22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียง
แบบ 3 ฝายต่อเนื่อง โดยการเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลอง

แหล่งความแปรปรวน	ฝายที่ 1	ฝายที่ 2	ฝายที่ 3
ระหว่างชุดทดลอง	0.282 ^{ns}	0.849 ^{ns}	0.624 ^{ns}

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของน้ำเสียระหว่างสัปดาห์ พบว่า ในชุดทดลองที่ 1 สัปดาห์ที่ 0 มีค่าเฉลี่ยของการบำบัดบีโอดีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 2 แตกต่างกับสัปดาห์ที่ 0 3 4 5 7 และ 8 ในชุดทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของการบำบัดบีโอดีในสัปดาห์ที่ 2 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับสัปดาห์ที่ 3 และชุดทดลองที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของการบำบัดบีโอดีในสัปดาห์ที่ 0 แตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ที่สัปดาห์ที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของการบำบัดบีโอดีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกสัปดาห์ โดยที่ทุกชุดทดลองมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีค่าเฉลี่ยสูงสุดในสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลองทั้งสิ้น (ตารางที่ 23)

ตารางที่ 23 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง
โดยการเปรียบเทียบระหว่างสัปดาห์ของการทดลอง

ชุด ทดลอง	เวลา (สัปดาห์)								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	7.900 ^a	24.567 ^{ab}	36.767 ^b	3.867 ^a	14.967 ^a	6.867 ^a	18.400 ^{ab}	6.967 ^a	5.600 ^a
2	8.033 ^{ab}	24.600 ^{ab}	26.367 ^b	2.900 ^a	18.033 ^{ab}	6.667 ^{ab}	11.133 ^{ab}	6.033 ^{ab}	14.767 ^{ab}
3	16.133 ^b	13.833 ^{ab}	28.800 ^c	2.900 ^a	7.100 ^{ab}	3.167 ^{ab}	12.567 ^{ab}	5.300 ^{ab}	6.900 ^{ab}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

3.6.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าบีโอดีและระยะเวลากับประสิทธิภาพการบำบัด บีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

ก. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าบีโอดีก่อนการบำบัดกับประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี
ด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าบีโอดีก่อนการบำบัดกับประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง พบว่า ค่าบีโอดีก่อนการบำบัดมีความสัมพันธ์กันในทางลบกับประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของทุกชุดทดลอง กล่าวคือเมื่อบีโอดีก่อนการบำบัดมีค่าสูง ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียงจะมีแนวโน้มลดลง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของชุดทดลองที่ 1 ชุดทดลองที่ 2 และชุดทดลองที่ 3 เท่ากับ (-0.399^*) (-0.367^{ns}) และ (-0.423^*) ตามลำดับ โดยชุดทดลองที่ 1 และชุดทดลองที่ 3 มีค่าบีโอดีก่อนการบำบัดสัมพันธ์แบบผกผันกับประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองในรูปแบบสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง เพื่อใช้สมการดังกล่าวในการพยากรณ์

ค่าตัวแปรตาม (ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี) ดังตารางที่ 24 แสดงให้เห็นว่าภาระบรรทุกบีโอดี (BOD loading) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

ตารางที่ 24 ความสัมพันธ์ของค่าบีโอดีก่อนการบำบัดกับประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

ชุดทดลอง	สมการ	r
ชุดทดลองที่ 1	$BOD_{\text{removal}} = 22.522 - 0.060 (BOD_{\text{influent}})$	-0.399*
ชุดทดลองที่ 2	-	-0.367 ^{ns}
ชุดทดลองที่ 3	$BOD_{\text{removal}} = 17.499 - 0.031 (BOD_{\text{influent}})$	-0.423*

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ข. ความสัมพันธ์ของระยะเวลาในการบำบัดกับประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ต่อเนื่อง

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของระยะเวลาในการบำบัดกับประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง พบว่า ระยะเวลาในการบำบัดมีความสัมพันธ์กันในทางลบกับประสิทธิภาพการบำบัดของฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง กล่าวคือเมื่อระยะเวลาในการบำบัดบีโอดีนานมากขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียงจะมีแนวโน้มลดลง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของชุดทดลองที่ 1 ชุดทดลองที่ 2 และชุดทดลองที่ 3 เท่ากับ (-0.294^{ns}) (-0.132^{ns}) และ (-0.427*) ตามลำดับ โดยชุดทดลองที่ 3 มีอิทธิพลของระยะเวลาในการบำบัดสัมพันธ์แบบผกผันกับประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากรองรับน้ำเสียจากโรงผลิตเส้นขนมจีน ซึ่งมีสารแขวนลอยและค่าบีโอดีสูงกว่าชุดทดลองอื่นๆ เมื่อระยะเวลาในการบำบัดนานมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการอุดตันของฝายและไบโอฟิล์มย่อยสลายสารอินทรีย์ได้น้อยลง สำหรับชุดทดลองที่ 1 และชุดทดลองที่ 2 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองในรูปแบบสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง เพื่อใช้สมการดังกล่าวในการพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม (ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี) ในตารางที่ 25 แสดงให้เห็นว่า

ระยะเวลาในการบำบัดมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

ตารางที่ 25 ความสัมพันธ์ของระยะเวลาที่ทำการทดลองกับประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

ชุดทดลอง	สมการ	r
ชุดทดลองที่ 1	-	-0.294 ^{ns}
ชุดทดลองที่ 2	-	-0.132 ^{ns}
ชุดทดลองที่ 3	$BOD_{\text{removal}} = 17.060 - 1.579 (\text{cycle})$	-0.427*

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าบีโอดีและระยะเวลาที่ทำการทดลองกับประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของน้ำเสียด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง พบว่าค่าบีโอดีและระยะเวลาที่ทำการทดลองมีสัมพันธ์แบบผกผันกับประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองโดยในชุดทดลองที่ 3 (บริเวณโรงผลิตเส้นขนมจีน) มีค่าบีโอดีสูงกว่าชุดทดลองที่ 1 และ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เมื่อระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเกิดจากปัญหาการอุดตันของตะกอน ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีลดลง จึงควรเพิ่มการดูแลและมีการจัดการตะกอนก่อนปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดฝายหินเรียง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. รูปแบบของฝายหินเรียงที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

การใช้ฝายหินเรียงที่มีลักษณะสี่เหลี่ยมคางหมู กว้าง 1.5 เมตร สูง 0.5 เมตร สันฝาย 0.3 เมตร ความลาดชันด้านหน้าฝาย 1:2 (แนวดิ่ง : แนวราบ) และศึกษาฝายหินเรียงที่มีความลาดชันทำฝายแตกต่างกัน 3 รูปแบบ คือ 1:2 1:4 และ 1:6 สามารถลดความสกปรกในรูปของซีโอไซด์และบีโอไซด์ได้ โดยฝายหินเรียงทั้ง 3 รูปแบบมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอไซด์และบีโอไซด์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 จึงมีความเหมาะสมในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอไซด์และบีโอไซด์ เนื่องจากเกิดการอุดตันของตะกอนช้า การก่อสร้างใช้ต้นทุนต่ำ และสามารถจัดการระบบได้ง่าย เหมาะอย่างยิ่งกับชุมชนที่มีความเข้มข้นของน้ำเสียค่อนข้างต่ำ

2. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยฝายหินเรียงรูปแบบที่เหมาะสมแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

การบำบัดน้ำเสียด้วยฝายหินเรียงรูปแบบ 1:2 แบบ 3 ฝายต่อเนื่อง จำนวน 3 ชุดทดลองที่มีแหล่งกำเนิดน้ำเสียแตกต่างกัน สรุปได้ดังนี้

2.1 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอไซด์ของฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ จำนวน 3 ชุดทดลองที่มีแหล่งกำเนิดน้ำเสียแตกต่างกัน ได้แก่ ชุดทดลองที่ 1 บริเวณศูนย์สุขภาพชุมชน ชุดทดลองที่ 2 บริเวณเทศบาลตำบลห้วยยอด และชุดทดลองที่ 3 บริเวณโรงผลิตเส้นขนมจีน แต่ละชุดทดลองมีค่าบีโอไซด์ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 60.0-258.0 66.0-234.0 และ 66.0-432.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล 140.8 ± 79.3 130.7 ± 48.6 และ 223.3 ± 138.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อบำบัดน้ำเสียด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง พบว่า ทุกชุดทดลองมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอไซด์สูงสุดในสัปดาห์ที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 92.0 41.2 และ 65.5 และมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอไซด์เฉลี่ยของแต่ละฝายในแต่ละชุดทดลองคิดเป็นร้อยละ 36.8 38.7 และ 28.8 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าน้ำเสียที่มีค่าบีโอไซด์ค่อนข้างต่ำในชุดทดลองที่ 1 และ 2 จะมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอไซด์เฉลี่ยสูงกว่าชุดทดลองที่ 3 ซึ่งมีค่าบีโอไซด์ก่อนบำบัดสูง จึงกล่าวได้ว่าฝายหินเรียงมีความเหมาะสมสำหรับใช้นำบำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอไซด์ต่ำ โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้

ในการบำบัดน้ำเสียที่ไหลผ่านลำห้วยหรือคูขนาดเล็กได้มากกว่า 3 ฝ่าย ตามความเหมาะสมของสภาพพื้นที่ และภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ซึ่งในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ควรมีการทำความสะอาดฝ่ายทุก 2 สัปดาห์

2.2 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของฝ่ายหินเรียงแบบ 3 ฝ่ายต่อเนื่องมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับบีโอดีของน้ำเสียก่อนบำบัดและระยะเวลาในการบำบัด อธิบายได้ว่าเมื่อค่าบีโอดีของน้ำเสียก่อนการบำบัดมีค่าสูง และมีระยะเวลาในการบำบัดนานมากขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการอุดตันของตะกอน สำหรับผู้นำไปประยุกต์ใช้ คาดว่าน่าจะเป็นแนวทางในการดูแลและจัดการระบบได้

ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาการใช้ฝ่ายหินเรียง (rock check dams) บำบัดน้ำเสียชุมชน สามารถประยุกต์ใช้กับฝ่ายหินเรียงได้หลายรูปแบบ ตามความเหมาะสมของพื้นที่ ควรคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความลาดชันของพื้นที่ ขนาดก้อนหิน ระยะห่างระหว่างฝ่าย ปริมาณน้ำเสีย อัตราการไหลของน้ำ ความสกปรกของน้ำเสีย ปริมาณการเก็บกัก และปริมาณตะกอน เป็นต้น จะช่วยให้สามารถประยุกต์ใช้ฝ่ายหินเรียงเพื่อบำบัดน้ำเสียในพื้นที่อื่นได้อย่างเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

2. เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้เก็บข้อมูลในช่วงเวลาเดียว ซึ่งอาจจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของฝ่ายหินเรียงในช่วงเวลาอื่นๆ หรือตลอดทั้งวัน ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ไบโอฟิล์มจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2537. คู่มือเล่ม 1 คู่มือเจ้าของอาคาร/ภัตตาคารและผู้รับจ้างติดตั้งระบบบำบัด
น้ำเสียแบบติดที่. เรือนแก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

กรมชลประทาน. 2551. อภิธานศัพท์เทคนิคของกรมชลประทาน. แหล่งที่มา :

<http://www.rid.go.th/Ridvocab/index.html>, 12 ตุลาคม 2549.

กรรณิการ์ สิริสิงห. 2544. เคมีของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 3.

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏจันทรเกษม, กรุงเทพฯ.

กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2534. การกำหนดคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร. สำนักงาน

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

กองเศรษฐธรณีวิทยา. 2544. แผนที่ทรัพยากรแร่. กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม,

กรุงเทพฯ.

กองสำรวจและจำแนกดิน. 2536. รายงานการใช้ประโยชน์ที่ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตร

และสหกรณ์, จังหวัดตรัง.

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2535. วิศวกรรมกรรมการจัดน้ำเสีย เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 2. มิตรนราการ

พิมพ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2539. วิศวกรรมกรรมการจัดน้ำเสีย เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2543. วิศวกรรมกรรมการจัดน้ำเสีย เล่มที่ 4. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยรังสิต, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทรแก้ว. 2526. การจัดการลุ่มน้ำ. ภาควิชาอนุรักษ์ คณะวนศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทร์แก้ว. 2541. เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2551. หลักการจัดการลุ่มน้ำ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

โกมล ศิวบรร, เขายุทธ พรพิมลเทพ และ สุวิทย์ ชุมนุมศิริวัฒน์. 2527. การประปาเบื้องต้น.
ภาควิชาสุขาภิบาลวิศวกรรม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

คณิต ฐนุธรรมเจริญ. 2546. เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตรฝ่ายต้นน้ำลำธารเพื่อการ
อนุรักษ์และพัฒนาที่ยั่งยืน. ฝ่ายศึกษาและพัฒนาป่าไม้ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้
อันเนื่องมาจากพระราชดำริ, เชียงใหม่.

โครงการศึกษาเพื่อจัดลำดับความสำคัญการจัดการน้ำเสียชุมชน. 2538. อัตราการเกิดน้ำเสีย.
สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

ชัยภรณ์ ทุนเลิศ, เกสร อินกุนะ, เนตรนภา นันทา, พิกุล ไยบัว, และ วันเพ็ญ กิตติยา. 2548.
แบบแปลนฝ่ายและราคาประมาณฝ่ายต้นน้ำลำธารแบบกึ่งถาวรและแบบถาวร. กลุ่มจัดการ
ต้นน้ำ, เชียงใหม่.

ดวงพร คันทโชติ. 2545. นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

เทศบาลตำบลห้วยยอด. 2551. ข้อมูลเทศบาลตำบลห้วยยอด. กรมการปกครองส่วนท้องถิ่น
กระทรวงมหาดไทย. แหล่งที่มา: <http://www.huaiyotcity.go.th/tassabal16.dot>, 13 มีนาคม
2551.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. สมาคมวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2545. แบบจำลองคณิตศาสตร์การชะล้างพังทลายของดินและมลพิษตะกอนใน
พื้นที่ลุ่มน้ำ. ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. 2539. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

พงศ์ศักดิ์ ฤทธิสมิต. 2546. การเปรียบเทียบการไหลของน้ำผ่านฝายสันกว้างรูปสี่เหลี่ยมและรูปตัววี ที่มีและไม่มีความลาดชันด้านฝาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิมล เรียนวัฒนา และ ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2525. เคมีภาวะแวดล้อม. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน. 2546. การวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำชลประทาน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มันสิน ตันทุลเวศม์. 2538. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

มันสิน ตันทุลเวศม์ และ มันรัช ตันทุลเวศม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. โรงพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัย การประมง. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ลัดดาวัลย์ ปัญจิโรจน์. 2541. การศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อบำบัดน้ำเสียแบบกึ่งไร้อากาศ จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิชัย ชินบุรพา. 2539. การเปรียบเทียบสมรรถนะของถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางเป็นหิน เศษคอนกรีต และพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สง่า ตั้งชวาล. 2541. ธรณีวิศวกรรมชั้นพื้นฐาน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2549. ระบบบำบัดน้ำเสีย: การเลือกใช้ การออกแบบ การควบคุม และการแก้ไขปัญหา. ท้อป, กรุงเทพฯ.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2535. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพ

สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 2535 และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง. สำนักงานนโยบายและแผน

สิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

สิทธิโชค บัวดี. 2547. แบคทีเรียในτριฟายอิงและตัวกรองชีวภาพจากวัชดุธรรมชาติเพื่อกำจัด

แอมโมเนียในระบบบำบัดน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม

เกล้าธนบุรี.

สุกัญญา สารณคมน์กุล. 2548. การศึกษาคุณสมบัติบางประการของน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมือง

เพชรบุรีและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของพุทธรักษา ธรรมรักษา และชิงแดง

ในสภาพน้ำขังสลับแห้งของดินร่วมกับพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ. 2550. เทคโนโลยีน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุธิลา ตูลยะเสถียร, โกศล วงศ์สวรรค์ และ สติติ วงศ์สวรรค์. 2544. มลพิษสิ่งแวดล้อม (ปัญหา

สังคมไทย). บริษัทรวมสาส์น (1977) จำกัด, กรุงเทพฯ.

สุริ สอนสมบุญ. 2521. ความเป็นพิษของน้ำเค็ม คุณภาพน้ำในงานชลประทาน-คู่มือเกษตร

ชลประทาน เล่มที่ 15. กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สมศรี กันภัย. 2543. การบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกหนังโดยใช้กระบวนการกรองที่มีเศษหินแกรนิต

เป็นสารกรอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เสริมพล รัตนสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

และแหล่งชุมชน. โรงพิมพ์สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย,

กรุงเทพฯ.

อุราตี ทองยัง. 2549. การประเมินปริมาณสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีในพื้นที่การใช้ประโยชน์
เกษตรกรรมและป่าไม้ บริเวณลุ่มน้ำบางปะกง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

APHA, AWWA, and WEF. 1992. **Standard Method for the Examination of water and
wasterwater**. 18th ed. American Public Health Association, Washington, DC.

Biltton, G. 1999. **Wastewater microbiology**. A John Woley and Son, Inc publication. USA

Ghigo, J.M., C. Beloin, L. FERRIERES, C. KOREA, B. Le, J. VALLE, and L. LATOUR. 2006.
Genetics of Biofilms Laboratory. Fighting against detrimental biofilms. Available
Source: www.pasteur.fr/recherche/RAR/RAR2006/Ggb-en.html, October 12, 2008.

Gray, D.H. and A.T. Leiser. 1982. **Biotechnical slope protection erosion control**. Van
Nostrand Reinhold Company, New York.

Hammer, J.M. 1986. **Water and Wastewater Technology**. U.S.A.

Helmer, C. and S. Kunst. 1998. Simultaneous nitrification and denitrification in an aerobic
biofilm system. **Wat. Sci. Tech.** 37(4/5): 183–187.

Holding, K.L., R.A. Gill and J. Carter. 2001. The relationship between epilithic periphyton
(biofilm) bound metals and metals bound to sediments in freshwater systems.
Environmental Geochemistry and Health 25: 87–93.

Ives, K.J. 1970. Rapid filtration. **Wat. Res.** 4: 201-223.

Jodi, E., D. David and Biesboer. 2003. **Improving the Desing of Roadside
Ditches to Decrease Transportation Related Surface water Pollution**. Water
Resource Sciences Graduate Program & Department of Plant Biology.

- Lazarova, V. and J. Manem. 1995. Biofilm characterization and Activity Analysis in water and wastewater treatment. **Wat. Res.** 10: 2227–2245.
- Mc Griff, E.C. 1972. The effects of urbanization on water quality. **J.Environ Qual.** 1: 86-88.
- Minnesota Pollution Control Agency. 1991. **Protecting Water Quality in Urban areas,** Minnesota.
- Natural Resources Conservation Service (NRCS). 1999. **Stand DWG No. IL-605 CA Rock check dam-coarse aggregate.** Available source: [http://lists.p2pays.org/ ref/02 /01524/IL-605 CA.PDF](http://lists.p2pays.org/ref/02/01524/IL-605%20CA.PDF), March 13, 2008.
- Office of Water. 1999. **Strom Water technology Fact sheet Vegetated Swales.** United state Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- O'Melia, C.R. and W. Stumm. 1969. Theory of water filtration. **J. AWWA.** 59: 1393.
- Reid, G.K. 1961. **Ecology of Inland Water Estuaries.** Reinhold Publishing Corporation Chapman and Hall, New York.
- Ruttner, F. 1973. **Fundamental of Limnology.** 3rd ed. University of Toronto Press, Toronto.
- Schueler, T.R. 1987. **Controlling Urban Run off.** A practical Manual for planning and Designing Urban BMPs, Ellicott city.
- Sediment Management Practices (SMPs). 2004. **Check dam in stromwater best management practices (BMPs).** Glasgow, Kentucky.
- Strom water management manual for the Puget Sound Basin. 1992. **Strom water manual for the Puget Sound Basin.** Washington State Department of Ecology, Washington, D.C.

- Steinberger, R.E., A.R. Allen , H.G. Hansma and P.A. Holden. 2002. Elongation correlates with Nutrient Deprivation in *Pseudomonas aeruginosa* – unsaturated Biofilms. **Microb Ecol.** 43: 416–423.
- Stoodley, L., and P. Stoodley . 2002. Development Regulation of microbial biofilm. **Biot.** 13: 228–233.
- Trulear, MG. and WG. Characklis. 1982. Dynamics of biofilm processes. **JWPCF.** 9: 1288-1301.
- Wanner, J., and Kucman and R.P. Grau. 1998. Activated Sludge Process Combined with Biofilm Cultivation. **Wat. Res.** 22: 207-215.
- Watanabe, Y., S. Okabe, T. Arata and Y. Haruta. 1994. Study on the performance of an up-flow aerated biofilter (UAB) in municipal wastewater treatments. **Wat. Sci. and Tech.** 11: 25–33.
- William J.G. 1995. Biological Treatment in Recirculating Aquaculture Systems. *In* **Recirculating aquaculture in the classroom: a training workshop for agricultural science teachers.** Louisiana Sea Grant College Program, Louisiana State University, and the Louisiana Department of Education, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน
และมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร

ตารางผนวกที่ ก1 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่าทางสถิติ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด ^{2/} ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
			ประเภท				
			1	2	3	4	5
1. สี กลิ่นและรส (Colour, Odour and Taste)	-	-	๖	๖'	๖'	๖'	-
2. อุณหภูมิ (Temperature)	-	°ซ	๖	๖'	๖'	๖'	-
3. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	-	๖	5-9	5-9	5-9	-
4. ออกซิเจนละลาย (DO) ^{2/}	P20	มก./ล.	๖	6.0	4.0	2.0	-
5. บีโอดี (BOD)	P80	มก./ล.	๖	1.5	2.0	4.0	-
6. แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	P80	เอ็ม.พี. เอ็น/100 มล.	๖	5,000	20,000	-	-
7. แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลลีฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)	P80	เอ็ม.พี. เอ็น/100 มล.	๖	1,000	4,000	-	-
8. ไนเตรต (NO ₃) ในหน่วยไนโตรเจน	-	มก./ล.	๖		5.0		-
9. แอมโมเนีย (NH ₃) ในหน่วยไนโตรเจน	-	มก./ล.	๖		0.5		-
10. ฟีนอล (Phenols)	-	มก./ล.	๖		0.005		-
11. ทองแดง (Cu)	-	มก./ล.	๖		0.1		-
12. นิกเกิล (Ni)	-	มก./ล.	๖		0.1		-
13. แมงกานีส (Mn)	-	มก./ล.	๖		1.0		-
14. สังกะสี (Zn)	-	มก./ล.	๖		1.0		-
15. แคดเมียม (Cd)	-	มก./ล.	๖		0.005* 0.05**		-
16. โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Cr Hexavalent)	-	มก./ล.	๖		0.05		-
17. ตะกั่ว (Pb)	-	มก./ล.	๖		0.05		-

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่า	หน่วย	การแบ่งประเภทคุณภาพน้ำ					
			ทาง	การใช้ประโยชน์				
				ประเภท	ประเภท	ประเภท	ประเภท	ประเภท
	สถิติ		1	2	3	4	5	
18. โปรททั้งหมด (Total Hg)	-	มก./ล.	๓		0.002		-	
19. สารหนู (As)	-	มก./ล.	๓		0.01		-	
20. ไซยาไนด์ (Cyanide)	-	มก./ล.	๓		0.005		-	
21. กัมมันตภาพรังสี								
(Radioactivity)		เบคเคอ						
-ค่ารังสีแอลฟา(Alpha)	-	เรล/ล.	๓		0.1		-	
-ค่ารังสีเบตา(Beta)					1.0			
22. สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์								
ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด	-	มก./ล.	๓		0.05		-	
(Total Organochlorine								
Pesticides)								
23. ดีดีที (DDT)	-	ไมโครก	๓		1.0		-	
		กรัม/ล.						
24. บีเอชซีชนิดแอลฟา	-	ไมโครก	๓		0.02		-	
(Alpha-BHC)		กรัม/ล.						
25. ดิลดริน (Dieldrin)	-	ไมโครก	๓		0.1		-	
		กรัม/ล.						
26. อัลดริน (Aldrin)	-	ไมโครก	๓		0.1		-	
		กรัม/ล.						
27. เฮปตาคลอร์และเฮปตา								
คลออีพอกไซด์	-	ไมโครก	๓		0.2		-	
(Heptachor &		กรัม/ล.						
Heptachlorepoxyde)								
28. เอนดริน (Endrin)	-	ไมโครก		ไม่สามารถตรวจพบได้ตาม				
		กรัม/ล.	๓	วิธีการตรวจสอบที่กำหนด			-	

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

หมายเหตุ	ประเภทที่ 1	ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน (2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน (3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ
	ประเภทที่ 2	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ (3) การประมง (4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ
	ประเภทที่ 3	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การเกษตร
	ประเภทที่ 4	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน (2) การอุตสาหกรรม
	ประเภทที่ 5	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

1/ = กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

2/ = ค่า DO เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด

ธ = เป็นไปตามธรรมชาติ

ธ' = อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 องศาเซลเซียส

* = น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO_3 ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

** = น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO_3 เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

°ซ = องศาเซลเซียส

P 20 = ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

P 80 = ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

มก./ล.= มิลลิกรัมต่อลิตร

MPN = เอ็ม.พี.เอ็น หรือ Most Probable Number

ที่มา: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความใน
พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 เรื่อง กำหนด
มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16 ง ลง
วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537

ตารางผนวกที่ ก2 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	การแบ่งประเภทคุณภาพน้ำ					
		การใช้ประโยชน์					หมายเหตุ
		ประเภท ก	ประเภท ข	ประเภท ค	ประเภท ง	ประเภท จ	
1. ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)	-	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9	
2. บีโอดี (BOD)	มก./ล.	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 200	
3. ปริมาณของแข็ง	มก./ล.	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 60	
- ค่าสารแขวนลอย (Suspended Solids)							
- ค่าตะกอนหนัก (Settleable Solids)	มล./ล.	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	-	
- ค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solid)	มก./ล.	ไม่เกิน 500*	ไม่เกิน 500*	ไม่เกิน 500*	ไม่เกิน 500*	-	
4. ค่าซัลไฟด์ (Sulfide)	มก./ล.	ไม่เกิน 1.0	ไม่เกิน 1.0	ไม่เกิน 3.0 - 4.0	ไม่เกิน 4.0	-	
5. ไนโตรเจน (Nitrogen) ในรูป ที เค เอ็น (TKN)	มก./ล.	ไม่เกิน 35	ไม่เกิน 35	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 40	-	
6. น้ำมันและไขมัน (Fat , Oil and Grease)	มก./ล.	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 100	

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

หมายเหตุ การแบ่งประเภทของอาคาร แบ่งออกเป็น 5 ประเภท คือ

อาคารประเภท ก. หมายความว่า อาคารดังต่อไปนี้

1. อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ห้องนอนขึ้นไป
2. โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นห้องพักรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 200 ห้องขึ้นไป
3. โรงพยาบาลของทางราชการหรือสถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล ที่มีเตียงสำหรับรับผู้ป่วยไว้ค้างคืนรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 30 เตียงขึ้นไป
4. อาคารโรงเรียนราษฎร์ โรงเรียนของทางราชการ สถาบันอุดมศึกษาของเอกชน หรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 25,000 ตารางเมตรขึ้นไป
5. อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชนที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 55,000 ตารางเมตรขึ้นไป
6. อาคารของศูนย์การค้าหรือห้างสรรพสินค้าที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 25,000 ตารางเมตรขึ้นไป
7. ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 2,500 ตารางเมตรขึ้นไป
8. ภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 2,500 ตารางเมตรขึ้นไป

อาคารประเภท ข. หมายความว่า อาคารดังต่อไปนี้

1. อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 100 ห้องนอน แต่ไม่ถึง 500 ห้องนอน
2. โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นห้องพักอาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 60 ห้อง แต่ไม่ถึง 200 ห้อง
3. หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 250 ห้องขึ้นไป
4. สถานบริการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตรขึ้นไป

5. โรงพยาบาลของทางราชการหรือสถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาลที่มีเตียงสำหรับผู้ป่วยไว้ค้างคืนรวม กันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10 เตียง แต่ไม่ถึง 30 เตียง

6. อาคารโรงเรียนราษฎร์ โรงเรียนของทางราชการ สถาบันอุดมศึกษาเอกชนหรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการ ที่มีพื้นที่ ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคาร ตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 25,000 ตารางเมตร

7. อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชน ที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของ อาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 55,000 ตารางเมตร

8. อาคารของศูนย์การค้าหรือห้างสรรพสินค้าที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 25,000 ตารางเมตร

9. ตลาดที่มีพื้นที่ที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,500 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 2,500 ตารางเมตร

10. กภัตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 2,500 ตารางเมตร

อาคารประเภท ค. หมายความว่าอาคารดังต่อไปนี้

1. อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคาร ไม่ถึง 100 ห้องนอน

2. โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นห้องพักรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มอาคาร ไม่ถึง 60 ห้อง

3. หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 50 ห้อง แต่ไม่ถึง 250 ห้อง

4. สถานบริการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 5,000 ตารางเมตร

5. อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชน ที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 10,000 ตารางเมตร

6. ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 1,500 ตารางเมตร

7. กัฏาคารหรือร้านอาคารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 250 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 500 ตารางเมตร

อาคารประเภท ง. หมายความว่าอาคารดังต่อไปนี้

1. หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10 ห้อง แต่ไม่ถึง 50 ห้อง

2. ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 1,000 ตารางเมตร

3. กัฏาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 100 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 250 ตารางเมตร

อาคารประเภท จ. หมายความว่ากัฏาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นไม่ถึง 100 ตารางเมตร

ที่มา: ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภท และบางขนาด ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 111 ตอนพิเศษ 9 ลงวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2537



ภาพผนวกที่ ก1 ลักษณะของหินปูนที่ใช้ในการทดลอง



ภาพผนวกที่ ก2 ลักษณะของฝายหินเรียงที่ใช้ในการทดลองบำบัดน้ำเสียของเทศบาลตำบลห้วยยอด
อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง



ก.

ข.

ค.

ภาพผนวกที่ ก3 ชุดการทดลองการบำบัดน้ำเสียแบบ 3 ฝ่ายต่อเนื่องของเทศบาลตำบลห้วยยอด
อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง

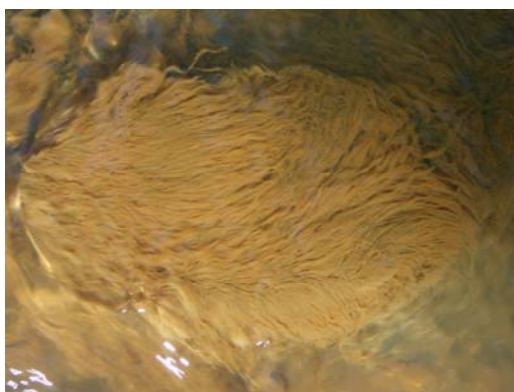
- หมายเหตุ ก. ชุดการทดลองที่ 1 บริเวณศูนย์สุขภาพชุมชน
ข. ชุดการทดลองที่ 2 บริเวณเทศบาลตำบลห้วยยอด
ค. ชุดการทดลองที่ 2 บริเวณ โรงผลิตเส้นขนมจีน



ภาพผนวกที่ ก4 ลักษณะของไบโอฟิล์มที่เจริญบนผิวของก้อนหินเรียง



ภาพผนวกที่ ก5 ลักษณะการหลุดลอกของไบโอฟิล์ม



ภาพผนวกที่ ก6 ลักษณะของไบโอฟิล์มภายหลังฝนตก

ภาคผนวก ข**ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ**

การศึกษารูปแบบฝายหินเรียงที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

ตารางผนวกที่ ข1 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีระหว่างฝ่ายหินเรียง
3 รูปแบบ คือ 1:2 1:4 และ 1:6

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	302.624	2	151.312	1.355	.269
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	4690.342	42	111.675		
รวม	4992.967	44			

ตารางผนวกที่ ข2 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝ่ายหินเรียง
รูปแบบ 1:2 ระหว่างจุดทดลอง

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	58.226	2	29.113	0.232	.797
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	1508.303	12	125.692		
รวม	1566.529	14			

ตารางผนวกที่ ข3 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝ่ายหินเรียง
รูปแบบ 1:4 ระหว่างจุดทดลอง

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	294.064	2	147.032	2.148	.159
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	821.237	12	68.436		
รวม	1115.301	14			

ตารางผนวกที่ ข4 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียง
รูปแบบ 1:6 ระหว่างจุดทดลอง

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	45.299	2	22.649	0.138	.872
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	1963.213	12	163.601		
รวม	2008.512	14			

ตารางผนวกที่ ข5 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียง
รูปแบบ 1:2 ระหว่างระยะเวลาทดลอง

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	1208.594	4	302.148	8.441	.003
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	357.935	10	35.794		
รวม	1566.529	14			

ตารางผนวกที่ ข6 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียง
รูปแบบ 1:4 ระหว่างระยะเวลาทดลอง

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	128.714	4	32.178	0.326	.854
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	986.588	10	98.659		
รวม	1115.301	14			

ตารางผนวกที่ ข7 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียง
รูปแบบ 1:6 ระหว่างระยะเวลาดทดลอง

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	1321.926	4	330.481	4.813	.020
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	686.586	10	68.659		
รวม	2008.512	14			

ตารางผนวกที่ ข8 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียง
3 รูปแบบ

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	1039.727	2	519.864	2.710	.087
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	4604.542	24	191.856		
รวม	5644.270	26			

ตารางผนวกที่ ข9 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของฝายหินเรียง
รูปแบบ 1:2 ระหว่างจุดทดลอง

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	82.802	2	41.401	0.130	.881
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	1912.920	6	318.820		
รวม	1995.722	8			

ตารางผนวกที่ ข10 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปีโอดีของฝายหินเรียง
รูปแบบ 1:4 ระหว่างจุดทดลอง

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	317.547	2	158.773	0.920	.448
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	1035.093	6	172.516		
รวม	1352.640	8			

ตารางผนวกที่ ข11 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปีโอดีของฝายหินเรียง
รูปแบบ 1:6 ระหว่างจุดทดลอง

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	29.527	2	14.763	0.072	.931
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	1226.653	6	204.442		
รวม	1256.180	8			

ตารางผนวกที่ ข12 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปีโอดีของฝายหินเรียง
รูปแบบ 1:2 ระหว่างระยะเวลาทดลอง

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	1603.269	2	801.634	12.256	.008
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	392.453	6	65.409		
รวม	1995.722	8			

ตารางผนวกที่ ข13 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปีโอดีของฝายหินเรียง
รูปแบบ 1:4 ระหว่างระยะเวลาดทดลอง

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	591.387	2	295.693	2.331	.178
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	761.253	6	126.876		
รวม	1352.640	8			

ตารางผนวกที่ ข14 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปีโอดีของฝายหินเรียง
รูปแบบ 1:6 ระหว่างระยะเวลาดทดลอง

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	79.547	2	39.773	0.203	.822
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	1176.633	6	196.106		
รวม	1256.180	8			

ภาคผนวก ค**ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยฝายหินเรียงรูปแบบที่เหมาะสมแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

ตารางผนวกที่ ค1 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ชุดทดลอง		เวลา (สัปดาห์)									mean	S.D.
		0	1	2	3	4	5	6	7	8		
ชุดทดลองที่ 1												
ฝายที่ 1	ก่อนบำบัด	26.1	26.0	25.7	25.9	26.3	24.8	25.5	26.1	25.6	25.8	0.4
	หลังบำบัด	26.1	26.0	25.7	26.0	26.2	24.8	25.6	26.1	25.5	25.8	0.4
ฝายที่ 2	ก่อนบำบัด	26.0	26.0	25.6	25.9	26.2	24.8	25.7	26.1	25.5	25.8	0.4
	หลังบำบัด	25.9	26.0	25.5	25.9	26.2	24.8	25.7	26.1	25.5	25.7	0.4
ฝายที่ 3	ก่อนบำบัด	26.0	26.0	25.6	25.9	26.2	24.8	25.9	26.1	25.5	25.8	0.4
	หลังบำบัด	26.0	26.0	25.6	26.0	26.0	24.8	26.0	26.1	25.6	25.8	0.4
ชุดทดลองที่ 2												
ฝายที่ 1	ก่อนบำบัด	26.0	26.0	25.8	26.7	26.3	26.4	27.1	26.1	26.3	26.3	0.4
	หลังบำบัด	26.0	26.0	25.7	26.6	26.4	26.4	27.1	26.1	26.3	26.3	0.4
ฝายที่ 2	ก่อนบำบัด	26.0	26.0	25.6	26.7	26.4	26.4	27.2	26.1	26.3	26.3	0.5
	หลังบำบัด	26.0	26.0	25.6	26.6	26.4	26.3	27.0	26.1	26.4	26.3	0.4
ฝายที่ 3	ก่อนบำบัด	26.0	26.0	25.6	26.6	26.4	26.4	27.1	26.1	26.3	26.3	0.4
	หลังบำบัด	25.9	25.5	25.6	26.7	26.3	26.4	27.0	26.1	26.2	26.2	0.5

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ชุดทดลอง		เวลา (สัปดาห์)									mean	S.D.
		0	1	2	3	4	5	6	7	8		
ชุดทดลองที่ 3												
ฝ่ายที่ 1	ก่อนบำบัด	26.3	26.2	26.2	26.9	26.7	25.2	25.1	26.5	26.4	26.2	0.6
	หลังบำบัด	26.2	26.2	26.0	26.6	26.4	25.2	25.0	26.4	26.3	26.0	0.6
ฝ่ายที่ 2	ก่อนบำบัด	26.2	26.2	25.9	26.6	26.4	25.2	24.9	26.4	26.2	26.0	0.6
	หลังบำบัด	26.2	26.2	26.0	26.5	26.4	25.2	24.8	26.4	26.2	26.0	0.6
ฝ่ายที่ 3	ก่อนบำบัด	26.2	26.2	25.9	26.5	26.4	25.1	24.8	26.4	26.1	26.0	0.6
	หลังบำบัด	26.2	26.2	25.9	26.5	26.4	25.1	24.8	26.4	26.1	26.0	0.6

ตารางผนวกที่ ค2 พิเศษของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ชุดทดลอง		เวลา (สัปดาห์)									mean	S.D.
		0	1	2	3	4	5	6	7	8		
ชุดทดลองที่ 1												
ฝายที่ 1	ก่อนบำบัด	6.7	7.0	6.7	6.6	6.3	6.7	6.9	6.5	6.5	6.6	0.2
	หลังบำบัด	6.7	7.0	7.0	6.2	6.3	6.7	7.0	6.5	6.5	6.6	0.3
ฝายที่ 2	ก่อนบำบัด	6.7	7.0	7.0	6.6	6.3	6.7	7.0	6.5	6.5	6.7	0.3
	หลังบำบัด	6.7	7.0	7.0	6.5	6.2	6.7	6.8	6.4	6.5	6.6	0.2
ฝายที่ 3	ก่อนบำบัด	6.7	7.0	7.0	6.6	6.2	6.7	6.9	6.4	6.5	6.7	0.3
	หลังบำบัด	6.7	7.0	7.0	6.6	6.2	6.7	6.9	6.4	6.5	6.7	0.3
ชุดทดลองที่ 2												
ฝายที่ 1	ก่อนบำบัด	6.7	6.8	6.6	6.4	6.0	7.0	6.8	6.6	6.7	6.6	0.3
	หลังบำบัด	6.7	6.8	6.6	6.5	5.9	7.0	6.8	6.6	6.7	6.6	0.3
ฝายที่ 2	ก่อนบำบัด	6.7	6.8	6.6	6.5	6.0	6.9	6.8	6.6	6.7	6.6	0.3
	หลังบำบัด	6.7	6.8	6.6	6.5	5.9	6.9	6.8	6.6	6.7	6.6	0.3
ฝายที่ 3	ก่อนบำบัด	6.7	6.8	6.6	6.5	5.9	7.0	6.8	6.6	6.7	6.6	0.3
	หลังบำบัด	6.7	6.8	6.6	6.5	5.9	6.9	6.7	6.6	6.7	6.6	0.3

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

ชุดทดลอง		เวลา (สัปดาห์)									mean	S.D.
		0	1	2	3	4	5	6	7	8		
ชุดทดลองที่ 3												
ฝ่ายที่ 1	ก่อนบำบัด	6.4	6.5	6.6	6.4	6.3	6.5	6.3	6.3	6.2	6.4	0.1
	หลังบำบัด	6.4	6.5	6.6	6.4	6.4	6.5	6.3	6.3	6.2	6.4	0.1
ฝ่ายที่ 2	ก่อนบำบัด	6.4	6.5	6.7	6.4	6.4	6.5	6.3	6.3	6.2	6.4	0.1
	หลังบำบัด	6.4	6.5	6.6	6.4	6.3	6.4	6.3	6.3	6.2	6.4	0.1
ฝ่ายที่ 3	ก่อนบำบัด	6.4	6.5	6.6	6.4	6.3	6.4	6.3	6.3	6.3	6.4	0.1
	หลังบำบัด	6.4	6.6	6.6	6.4	6.3	6.4	6.3	6.3	6.2	6.4	0.1

ตารางผนวกที่ 3 สภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) ของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่องเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ชุดทดลอง		เวลา (สัปดาห์)									mean	S.D.
		0	1	2	3	4	5	6	7	8		
ชุดทดลองที่ 1												
ฝายที่ 1	ก่อนบำบัด	523.0	555.0	592.0	645.0	831.0	603.0	674.0	712.0	681.0	646.2	92.7
	หลังบำบัด	526.0	566.0	591.0	650.0	833.0	603.0	673.0	718.0	683.0	649.2	92.1
ฝายที่ 2	ก่อนบำบัด	522.0	564.0	590.0	648.0	836.0	603.0	673.0	715.0	681.0	648.0	93.5
	หลังบำบัด	518.0	561.0	587.0	654.0	842.0	603.0	678.0	723.0	680.0	649.6	97.1
ฝายที่ 3	ก่อนบำบัด	524.0	564.0	591.0	659.0	840.0	601.0	679.0	720.0	678.0	650.7	94.8
	หลังบำบัด	525.0	566.0	593.0	659.0	840.0	601.0	680.0	722.0	680.0	651.8	94.5
ชุดทดลองที่ 2												
ฝายที่ 1	ก่อนบำบัด	605.0	634.0	630.0	711.0	909.0	656.0	738.0	691.0	624.0	688.7	93.7
	หลังบำบัด	611.0	645.0	629.0	708.0	910.0	658.0	741.0	691.0	623.0	690.7	92.8
ฝายที่ 2	ก่อนบำบัด	610.0	641.0	632.0	708.0	910.0	676.0	742.0	690.0	624.0	692.6	92.3
	หลังบำบัด	619.0	647.0	634.0	708.0	912.0	666.0	744.0	690.0	623.0	693.7	91.9
ฝายที่ 3	ก่อนบำบัด	623.0	651.0	635.0	708.0	913.0	667.0	745.0	690.0	623.0	695.0	91.5
	หลังบำบัด	620.0	650.0	635.0	708.0	917.0	668.0	743.0	690.0	624.0	695.0	92.7

ตารางผนวกที่ ค3 (ต่อ)

ชุดทดลอง		เวลา (สัปดาห์)									mean	S.D.
		0	1	2	3	4	5	6	7	8		
ชุดทดลองที่ 3												
ฝ่ายที่ 1	ก่อนบำบัด	1,674.0	1,740.0	927.0	1,995.0	1,067.0	1,681.0	1,495.0	1,098.0	1,253.0	1,436.7	365.4
	หลังบำบัด	1,695.0	1,717.0	916.0	1,613.0	1,092.0	1,798.0	1,511.0	1,115.0	1,264.0	1,413.4	322.3
ฝ่ายที่ 2	ก่อนบำบัด	1,700.0	1,709.0	902.0	1,981.0	1,116.0	1,854.0	1,555.0	1,097.0	1,259.0	1,463.7	380.3
	หลังบำบัด	1,711.0	1,684.0	900.0	1,913.0	1,134.0	1,987.0	1,767.0	1,118.0	1,261.0	1,497.2	396.0
ฝ่ายที่ 3	ก่อนบำบัด	1,690.0	1,648.0	894.0	1,750.0	1,183.0	1,927.0	1,891.0	1,121.0	1,256.0	1,484.4	374.9
	หลังบำบัด	1,686.0	1,637.0	887.0	1,642.0	1,183.0	1,994.0	1,970.0	1,120.0	1,248.0	1,485.2	390.6

ตารางผนวกที่ ๓4 ออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ชุดทดลอง		เวลา (สัปดาห์)									mean	S.D.
		0	1	2	3	4	5	6	7	8		
ชุดทดลองที่ 1												
ฝายที่ 1	ก่อนบำบัด	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	0.6	0.2	0.1	0.2	0.2
	หลังบำบัด	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	0.7	0.2	0.1	0.2	0.2
ฝายที่ 2	ก่อนบำบัด	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.6	0.1	0.1	0.2	0.2
	หลังบำบัด	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.5	0.2	0.1	0.2	0.2
ฝายที่ 3	ก่อนบำบัด	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.2	0.1	0.2	0.1
	หลังบำบัด	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.7	0.8	0.2	0.2	0.3	0.2
ชุดทดลองที่ 2												
ฝายที่ 1	ก่อนบำบัด	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
	หลังบำบัด	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
ฝายที่ 2	ก่อนบำบัด	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	หลังบำบัด	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
ฝายที่ 3	ก่อนบำบัด	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	หลังบำบัด	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.0

ตารางผนวกที่ ค4 (ต่อ)

ชุดทดลอง		เวลา (สัปดาห์)									mean	S.D.
		0	1	2	3	4	5	6	7	8		
ชุดทดลองที่ 3												
ฝ่ายที่ 1	ก่อนบำบัด	0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.8	0.6	0.3	0.2	0.3	0.3
	หลังบำบัด	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.8	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
ฝ่ายที่ 2	ก่อนบำบัด	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
	หลังบำบัด	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	0.4	0.1	0.1	0.2	0.2
ฝ่ายที่ 3	ก่อนบำบัด	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.4	0.2	0.1	0.2	0.2
	หลังบำบัด	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	0.4	0.4	0.2	0.2	0.1

ตารางผนวกที่ ค5 ของแรงละลายน้ำทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ชุดทดลอง		เวลา (สัปดาห์)									mean	S.D.
		0	1	2	3	4	5	6	7	8		
ชุดทดลองที่ 1												
ฝายที่ 1	ก่อนบำบัด	256.0	263.0	283.0	306.0	395.0	293.0	323.0	339.0	326.0	309.3	42.8
	หลังบำบัด	257.0	268.0	282.0	313.0	396.0	293.0	323.0	342.0	327.0	311.2	42.6
ฝายที่ 2	ก่อนบำบัด	256.0	266.0	282.0	308.0	397.0	293.0	324.0	340.0	327.0	310.3	43.1
	หลังบำบัด	256.0	266.0	281.0	316.0	398.0	293.0	325.0	344.0	326.0	311.7	43.8
ฝายที่ 3	ก่อนบำบัด	258.0	268.0	282.0	312.0	399.0	293.0	325.0	343.0	326.0	311.8	43.3
	หลังบำบัด	259.0	268.0	283.0	314.0	399.0	292.0	325.0	344.0	326.0	312.2	43.2
ชุดทดลองที่ 2												
ฝายที่ 1	ก่อนบำบัด	290.0	302.0	299.0	335.0	430.0	306.0	342.0	328.0	294.0	325.1	43.6
	หลังบำบัด	291.0	305.0	301.0	332.0	432.0	309.0	352.0	328.0	294.0	327.1	44.1
ฝายที่ 2	ก่อนบำบัด	292.0	305.0	302.0	333.0	432.0	315.0	344.0	327.0	294.0	327.1	43.2
	หลังบำบัด	293.0	308.0	304.0	332.0	433.0	312.0	345.0	328.0	294.0	327.7	43.2
ฝายที่ 3	ก่อนบำบัด	294.0	310.0	303.0	333.0	433.0	313.0	348.0	327.0	294.0	328.3	43.2
	หลังบำบัด	295.0	312.0	304.0	334.0	435.0	314.0	345.0	327.0	295.0	329.0	43.3

ตารางผนวกที่ ค5 (ต่อ)

ชุดทดลอง		เวลา (สัปดาห์)									mean	S.D.
		0	1	2	3	4	5	6	7	8		
ชุดทดลองที่ 3												
ฝ่ายที่ 1	ก่อนบำบัด	672.0	844.0	442.0	959.0	1,537.0	843.0	1,201.0	518.0	601.0	846.3	349.5
	หลังบำบัด	670.0	835.0	438.0	940.0	1,549.0	899.0	1,233.0	533.0	605.0	855.8	355.0
ฝ่ายที่ 2	ก่อนบำบัด	671.0	820.0	431.0	955.0	1,588.0	910.0	1,222.0	524.0	606.0	858.6	365.9
	หลังบำบัด	671.0	814.0	427.0	920.0	1,613.0	987.0	1,221.0	532.0	607.0	865.8	373.1
ฝ่ายที่ 3	ก่อนบำบัด	668.0	796.0	426.0	848.0	1,672.0	975.0	1,218.0	536.0	603.0	860.2	387.5
	หลังบำบัด	670.0	795.0	424.0	798.0	1,676.0	1001.0	1,213.0	535.0	602.0	857.1	390.0

ตารางผนวกที่ ๑๖ บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยฝายหินเรียงแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ชุดทดลอง		เวลา (สัปดาห์)									mean	S.D.
		0	1	2	3	4	5	6	7	8		
ชุดทดลองที่ 1												
ฝายที่ 1	ก่อนบำบัด	66.0	78.0	150.0	103.5	60.0	222.0	90.0	258.0	240.0	140.8	79.3
	หลังบำบัด	60.0	66.0	96.0	102.0	54.0	210.0	66.0	246.0	216.0	124.0	77.2
ฝายที่ 2	ก่อนบำบัด	72.0	72.0	42.0	100.5	72.0	234.0	84.0	330.0	270.0	141.8	106.1
	หลังบำบัด	66.0	66.0	36.0	96.0	60.0	216.0	66.0	282.0	258.0	127.3	96.2
ฝายที่ 3	ก่อนบำบัด	96.0	72.0	30.0	105.0	66.0	240.0	84.0	348.0	246.0	143.0	107.8
	หลังบำบัด	90.0	36.0	12.0	99.0	54.0	222.0	78.0	342.0	240.0	130.3	111.4
ชุดทดลองที่ 2												
ฝายที่ 1	ก่อนบำบัด	126.0	108.0	102.0	102.0	66.0	168.0	120.0	234.0	150.0	130.7	48.6
	หลังบำบัด	120.0	90.0	54.0	99.0	60.0	162.0	102.0	228.0	120.0	115.0	53.4
ฝายที่ 2	ก่อนบำบัด	138.0	66.0	60.0	103.5	72.0	180.0	132.0	240.0	126.0	124.2	58.6
	หลังบำบัด	132.0	60.0	24.0	100.5	54.0	168.0	114.0	228.0	108.0	109.8	62.2
ฝายที่ 3	ก่อนบำบัด	120.0	78.0	66.0	105.0	60.0	186.0	126.0	228.0	120.0	121.0	55.4
	หลังบำบัด	102.0	72.0	60.0	102.0	48.0	168.0	120.0	204.0	108.0	109.3	50.3

ตารางผนวกที่ ๖ (ต่อ)

ชุดทดลอง		เวลา (สัปดาห์)									mean	S.D.
		0	1	2	3	4	5	6	7	8		
ชุดทดลองที่ 3												
ฝ่ายที่ 1	ก่อนบำบัด	120.0	126.0	66.0	102.0	138.0	432.0	342.0	360.0	324.0	223.3	138.4
	หลังบำบัด	102.0	120.0	42.0	97.5	132.0	420.0	324.0	330.0	306.0	208.2	135.7
ฝ่ายที่ 2	ก่อนบำบัด	144.0	144.0	60.0	103.5	102.0	450.0	336.0	312.0	336.0	220.8	138.3
	หลังบำบัด	120.0	120.0	54.0	102.0	96.0	432.0	282.0	300.0	324.0	203.3	132.5
ฝ่ายที่ 3	ก่อนบำบัด	144.0	150.0	60.0	102.0	54.0	438.0	294.0	312.0	312.0	207.3	135.2
	หลังบำบัด	120.0	120.0	36.0	99.0	48.0	426.0	246.0	300.0	276.0	185.7	132.3

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยฝายหินเรียงรูปแบบที่เหมาะสมแบบ 3 ฝายต่อเนื่อง

ตารางผนวกที่ ๑1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียง
แบบ 3 ฝายต่อเนื่อง ในชุดทดลองที่ 1 ระหว่างฝายที่ 1 ฝายที่ 2 และฝายที่ 3

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	200.720	2	100.360	0.472	.630
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	5104.747	24	212.698		
รวม	5305.467	26			

ตารางผนวกที่ ๑2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียง
แบบ 3 ฝายต่อเนื่อง ในชุดทดลองที่ 2 ระหว่างฝายที่ 1 ฝายที่ 2 และฝายที่ 3

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	148.765	2	74.383	0.405	.671
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	4404.982	24	183.541		
รวม	4553.747	26			

ตารางผนวกที่ ๑3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียง
แบบ 3 ฝายต่อเนื่อง ในชุดทดลองที่ 3 ระหว่างฝายที่ 1 ฝายที่ 2 และฝายที่ 3

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	137.687	2	68.843	0.712	.501
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	2319.720	24	96.655		
รวม	2457.407	26			

ตารางผนวกที่ ๔ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียง
แบบ 3 ฝ่ายต่อเนื่อง ในชุดทดลองที่ 1 ระหว่างครั้งทดลอง (สัปดาห์)

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	2883.227	8	360.403	2.678	.039
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	2422.240	18	134.569		
รวม	5305.467	26			

ตารางผนวกที่ ๕ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียง
แบบ 3 ฝ่ายต่อเนื่อง ในชุดทดลองที่ 2 ระหว่างครั้งทดลอง (สัปดาห์)

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	2738.414	8	342.302	3.394	.015
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	1815.333	18	100.852		
รวม	4553.747	26			

ตารางผนวกที่ ๖ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีด้วยฝายหินเรียง
แบบ 3 ฝ่ายต่อเนื่อง ในชุดทดลองที่ 3 ระหว่างครั้งทดลอง (สัปดาห์)

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	1633.700	8	204.213	4.463	.004
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	823.707	18	45.761		
รวม	2457.407	26			

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวบุญจงรักษ์ จิวคั่น
วัน เดือน ปี ที่เกิด	12 ตุลาคม 2523
สถานที่เกิด	จังหวัดตรัง
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตตรัง
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่โครงการฯ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ม. เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ศูนย์ภาคใต้ จังหวัดตรัง