



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

.....
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

.....
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

.....
วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียชุมชนของ
เทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง

The Efficiency of Rock Check Dam on Heavy Metal Removals in Huai Yot
Sub – District Community Wastewater, Trang Province

นามผู้วิจัย นายนพพร วงศ์วิวัฒน์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(ศาสตราจารย์วิทย์ ธารชลาณุกิจ, ปร.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เรืองวิชญ์ ยืนพันธ์, D.Tech.Sc.)

ประธานสาขาวิชา

.....
(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

นพพร วงศ์วิวัฒน์ 2552: ประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำ
เสียชุมชนของเทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง ปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศาสตราจารย์วิทย์ ธารชลาณุกิจ, ปร.ด. 163 หน้า

การศึกษาการขจัดปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอดด้วยฝายหิน
เรียงได้ดำเนินการเพื่อทราบความเป็นไปได้ของการขจัดโลหะหนักด้วยฝายหินเรียงที่บริเวณศูนย์
สุขภาพชุมชน, ที่ทำการเทศบาล และโรงงานขนมจีน ทำการเก็บตัวอย่างในลำคลองรับน้ำเสีย
3 พื้นที่ทดลองโดยดำเนินการสร้างฝายหินเรียงซึ่งทำจากหินปูน วางเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ความ
กว้าง 2.3 เมตร ความสูง 0.5 เมตร จำนวนพื้นที่ทดลองละ 3 ฝาย ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุกสัปดาห์ที่
4 ของเดือนบริเวณหน้าและหลังฝายของแต่ละพื้นที่ทดลองรวมเป็นเวลา 3 เดือน

ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการขจัดโลหะหนักคือ ตะกั่ว สารหนู
และปรอท ในน้ำเสียชุมชน พบว่า ฝายที่ 2 ของพื้นที่ที่ทำการเทศบาลมีประสิทธิภาพการขจัด
ตะกั่วให้ผลดีที่สุดเท่ากับ 25.36% ฝายที่ 3 ของพื้นที่ที่ทำการเทศบาลมีประสิทธิภาพการขจัดสาร
หนูให้ผลดีที่สุดเท่ากับ 42.06% และฝายที่ 1 บริเวณพื้นที่โรงงานขนมจีนมีประสิทธิภาพการบำบัด
ปรอทให้ผลดีที่สุดเท่ากับ 74.30% โลหะหนักที่ถูกขจัดโดยฝายหินเรียงได้ผลดีที่สุดคือ ปรอท
รองลงมาเป็นสารหนู และตะกั่วตามลำดับ ส่วนแหล่งน้ำเสียที่ขจัดโลหะหนักโดยรวมได้ดีที่สุด
คือ น้ำเสียจากแหล่งที่ทำการเทศบาล

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า ฝายหินเรียงสามารถช่วยในการขจัดโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดได้
และให้ประสิทธิภาพดีที่สุดสำหรับโลหะหนักแต่ละชนิดตามอันดับฝายและคุณสมบัติของน้ำเสีย
เชื่อว่างานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่นๆ ได้

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียชุมชนของ
เทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง

The Efficiency of Rock Check Dam on Heavy Metal Removals in Huai Yot Sub – District
Community Wastewater, Trang Province

โดย

นายณพพร วงศ์วิวัฒน์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรบัณฑิตสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2552

Nopporn Wongwiwat 2009: The Efficiency of Rock Check Dam on Heavy Metal Removals in Huai Yot Sub – District Community Wastewater, Trang Province. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Professor Wit Tarnchalanukit, Ph.D. 163 pages.

The study of rock check dam on heavy metal removals from wastewater in Huai Yot sub – district community wastewater receiving canals was to see the efficiency of rock check dam on removals of heavy metals in 3 difference sources of wastewater. Water samples were collected from 3 a serial canals : Community healthy center, Municipal office and Thai rice noodle factory. Each canal 3 units of rock check dams each in flat square shape of 2.3 meter width and 0.5 meter height were set up. The water samples were taken at the upstream and downstream of each dam at every fourth week of the month in all 3 months period.

The results showed that rock check dam had the efficiency on eliminating 3 heavy metals lead, arsenic and mercury. The most efficiency on eliminating lead was the dam number 2 in the Municipal office canal with 25.36%. The most efficiency on eliminating arsenic was the dam number 3 in the Municipal office canal with 42.06%. And The most efficiency on eliminating mercury was the dam number 1 at Thai rice noodle factory canal with 74.30%. The most efficiency on eliminating heavy metal was mercury followed by arsenic and lead, respectively. Rock check dam had the most efficiency on eliminating heavy metals from Municipal office canal than others.

From the results can be said that, rock check dams were able to eliminate three heavy metals and showed high efficiency of some dams and characteristic of wastewater. This can be apply to eliminate such 3 heavy metals at other places as well.

_____/_____/_____
Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจากความกรุณาเป็นอย่างยิ่งของ ศาสตราจารย์ วิทยุ ธารชลาณุกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์เรืองวิชัย ยืนพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ศาสตราจารย์เกษม จันทรแก้ว ประธานสาขาวิชา ผู้ที่กรุณาชี้แนะแนวทางในการทำวิจัย ให้คำปรึกษา แนะนำการใช้ชีวิตและการทำงาน และขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ชำนาญ ฉัตรแก้ว ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่เสียสละเวลาในการให้คำแนะนำเพิ่มเติมในการแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยมีท่าน ศาสตราจารย์เกษม จันทรแก้ว ประธานโครงการฯ มูลนิธิชัยพัฒนาและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย ขอขอบคุณเทศบาลตำบลห้วยยอด ที่ให้การสนับสนุนอย่างดีในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์วิทยาลัยสิ่งแวดล้อมและคณะประมง ที่ได้ประสิทธิภาพและความรู้เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมทำให้ข้าพเจ้ามีความรู้เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังสอนให้มีความอดทนต่ออุปสรรคต่างๆ ที่เกิดขึ้น ที่สำคัญอย่างยิ่งข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ นายครรชิต วงศ์วิวัฒน์ บิดา และนางศิริพร ชุงสุวรรณ มารดา ญาติพี่น้อง ที่ทำให้ข้าพเจ้าสนใจใฝ่เรียนรู้ อีกทั้งยังมอบทุกสิ่งทุกอย่างให้ข้าพเจ้าโดยไม่หวังผลตอบแทน ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ได้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริทุกท่านที่ให้การสนับสนุน ขอขอบคุณ คุณวศุภร จันทรพิศ พี่แฆ พี่อ้อ พี่ก้อย พี่เอ พี่หนึ่ง สมาชิกสี่กั๊กมาร นิสิตปริญญาโท สวท.รุ่น 30 , 31 และ 32 ที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือเมื่อยามมีอุปสรรค ขอขอบคุณ อย่างยิ่งสำหรับคุณบุญจงรักษ์ จิวัดัน ที่คอยช่วยเหลือข้าพเจ้าอย่างจริงใจ

คุณประ โยชน์ของวิทยานิพนธ์นี้ข้าพเจ้าขอขอบแต่ทุกท่านที่กล่าวมาในข้างต้น และผู้ที่มีส่วนร่วมกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นพพร วงศ์วิวัฒน์

พฤษภาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	46
อุปกรณ์	46
วิธีการ	47
ผลและวิจารณ์	54
ผล	54
วิจารณ์	122
สรุปและข้อเสนอแนะ	128
สรุป	128
ข้อเสนอแนะ	130
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	132
ภาคผนวก	144
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	163

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงระยะห่างของฝายต่ออัตราส่วนความสูงของฝายกับลาดชัน	22
2	แสดงขนาดหินที่เหมาะสมในการสร้างฝายตามความเร็วน้ำ	23
3	แสดงประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตเทศบาลตำบลห้วยยอด	38
4	ดัชนีและวิธีการวิเคราะห์น้ำเสีย โดยใช้วิธีการของ APHA, AWWA and WEF(1992)	52
5	ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียตลอดลำห้วยปลัดแก้วในการเก็บตัวอย่างเบื้องต้นครั้งที่ 1 วันที่ 10 พฤศจิกายน 2549 (มิลลิกรัม/ลิตร)	57
6	ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนตลอดลำห้วยปลัดแก้วในการเก็บตัวอย่างเบื้องต้น ครั้งที่ 1 วันที่ 10 พฤศจิกายน 2549 (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	58
7	ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียตลอดลำห้วยปลัดแก้ว ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 วันที่ 29 มิถุนายน 2550 (มิลลิกรัม/ลิตร)	60
8	ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนตลอดลำห้วยปลัดแก้ว ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 วันที่ 29 มิถุนายน 2550 (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	61
9	แสดงสัดส่วนของปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียและดินตะกอนบริเวณลำห้วยปลัดแก้ว	64
10	ดัชนีคุณภาพน้ำบริเวณพื้นที่ทดลอง เก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 วันที่ 21 มกราคม 2551	68
11	ดัชนีคุณภาพน้ำบริเวณพื้นที่ทดลอง เก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551	69
12	ดัชนีคุณภาพน้ำบริเวณพื้นที่ทดลอง เก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2551	70
13	ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากการบำบัดโดยใช้ฝายหินเรียง (มิลลิกรัม/ลิตร)	73
14	ปริมาณการลดลง (ก) และประสิทธิภาพการบำบัด (ข) ตะกั่วหลังจากเข้าสู่ฝายหินเรียงตามจุดเก็บตัวอย่าง ในพื้นที่ทดลอง	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณตะกั่วบริเวณหน้าและหลังฝายของแต่ละพื้นที่ทดลอง โดยวิธีการเปรียบเทียบแบบ Paired – Samples t – test	82
16	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างฝายใน พื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน ถึงพื้นที่โรงงานขนมจีน	83
17	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างฝายของแต่ละพื้นที่ ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT	84
18	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างพื้นที่ใน ฝายที่ 1 ถึง ฝายที่ 3	85
19	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างพื้นที่ในแต่ละฝาย ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT	85
20	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างครั้งใน พื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน ถึงพื้นที่โรงงานขนมจีน	87
21	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละครั้งของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วของแต่ละพื้นที่ ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT	87
22	ปริมาณสารหนูในน้ำเสียจากการบำบัดโดยใช้ฝายหินเรียง (มัลติกริม/ลิตร)	90
23	ปริมาณการลดลง (ก) และประสิทธิภาพการบำบัด (ข) สารหนูหลังจากเข้าสู่ฝายหินเรียงตามจุดเก็บตัวอย่าง ในพื้นที่ทดลอง	96
24	วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารหนูบริเวณหน้าและหลังฝายในแต่ละพื้นที่ทุกครั้ง โดยวิธีการเปรียบเทียบแบบ Paired – Samples t - test	99
25	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างฝายใน พื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน ถึงพื้นที่โรงงานขนมจีน	100
26	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างฝายของแต่ละพื้นที่ทดลองภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT	101
27	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างพื้นที่ใน ฝายที่ 1 ถึง ฝายที่ 3	102

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
28	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างพื้นที่ในแต่ละฝ่าย ภายหลังจากวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT	102
29	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างครั้งในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน ถึงพื้นที่โรงงานขนมจัน	104
30	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในแต่ละครั้งของพื้นที่ ภายหลังจากวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT	104
31	ปริมาณปรอทในน้ำเสียภายหลังจากบำบัดด้วยวิธีการใช้ฟลายหินเรียง (มิลลิกรัม/ลิตร)	107
32	ปริมาณการลดลง (ก) และประสิทธิภาพการบำบัด (ข) ปรอทหลังจากเข้าสู่การบำบัดด้วยฟลายหินเรียงตามจุดเก็บตัวอย่าง ในพื้นที่ทดลอง	113
33	วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณปรอทบริเวณหน้าและหลังในแต่ละพื้นที่แต่ละครั้ง โดยวิธีการเปรียบเทียบแบบ Paired – Samples t - test	116
34	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างฝ่ายในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน ถึงพื้นที่โรงงานขนมจัน	117
35	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างฝ่ายของแต่ละพื้นที่ ภายหลังจากวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT	118
36	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างพื้นที่ใน ฝ่ายที่ 1 ถึง ฝ่ายที่ 3	119
37	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างพื้นที่ในแต่ละฝ่าย ภายหลังจากวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT	119
38	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างครั้งในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน ถึงพื้นที่โรงงานขนมจัน	120
39	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในแต่ละครั้งของพื้นที่ภายหลังจากวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT	121

สารบัญตาราง (ต่อ)

	ตารางผนวกที่	หน้า
1	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่สามารถวัดได้ในช่วงเวลาการทำวิจัย (มิลลิกรัม/ลิตร)	145
2	อุณหภูมิที่สามารถวัดได้ในช่วงเวลาการทำวิจัย (องศาเซลเซียส)	146
3	ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำที่สามารถวัดได้ในช่วงเวลาการทำวิจัย	147
4	ค่าความเค็มของน้ำที่สามารถวัดได้ในช่วงเวลาการทำวิจัย (พีพีที)	148
5	ค่าการนำไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ในช่วงเวลาการทำวิจัย (ไมโครซีเมนต์)	149
6	ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่สามารถวัดได้ในช่วงเวลาการทำวิจัย (มิลลิกรัม/ลิตร)	150
7	ปริมาณตะกั่วในดินตะกอนภายหลังการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	151
8	ปริมาณสารหนูในดินตะกอนภายหลังการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	152
9	ปริมาณปรอทในดินตะกอนภายหลังการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	153
10	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างฝายในพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชน	154
11	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างฝายในพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาล	154
12	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างฝายในพื้นที่ทดลองโรงงานขนมจีน	154
13	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างฝายในพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชน	155
14	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างฝายในพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาล	155

สารบัญญัตินำ (ต่อ)

	ตารางผนวกที่	หน้า
15	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างฝายในพื้นที่ทดลองโรงงานขนมจีน	155
16	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างฝายในพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชน	156
17	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างฝายในพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาล	156
18	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างฝายในพื้นที่ทดลองโรงงานขนมจีน	156
19	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างพื้นที่ทดลองในฝายที่ 1	157
20	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างพื้นที่ทดลองในฝายที่ 2	157
21	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างพื้นที่ทดลองในฝายที่ 3	157
22	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างพื้นที่ทดลองในฝายที่ 1	158
23	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างพื้นที่ทดลองในฝายที่ 2	158
24	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างพื้นที่ทดลองในฝายที่ 3	158
25	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างพื้นที่ทดลองในฝายที่ 1	159
26	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างพื้นที่ทดลองในฝายที่ 2	159

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
27	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างพื้นที่ทดลองในฝ่ายที่ 3	159
28	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน	160
29	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในพื้นที่ที่ทำการเทศบาล	160
30	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในพื้นที่โรงงานขนมจีน	160
31	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน	161
32	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในพื้นที่ที่ทำการเทศบาล	161
33	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในพื้นที่โรงงานขนมจีน	161
34	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน	162
35	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในพื้นที่ที่ทำการเทศบาล	162
36	วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในพื้นที่โรงงานขนมจีน	162

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรอบงานวิจัย	5
2	ลักษณะของฝายหินเรียง	21
3	แสดงการจัดเรียงตัวของใบ โอฟีลัม	27
4	การเกาะติดของจุลินทรีย์กับตัวกลาง	27
5	การเคลื่อนย้ายสารประกอบคีเลตเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์	32
6	แสดงการเคลื่อนย้ายโลหะหนักออกจากเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยการปั๊ม	33
7	แสดงกลุ่มชุดดินที่พบบริเวณพื้นที่ตำบลห้วยยอด	37
8	แผนที่ทรัพยากรแร่ แสดงพื้นที่แหล่งแร่และศักยภาพของแร่ ระวัง NB 47 – 3 จังหวัดสงขลา บริเวณ อำเภอห้วยยอด	43
9	รูปแบบฝายหินเรียงลักษณะเป็นฝายสันคมรูปตัดสามเหลี่ยมก่อนข้างแบน อัตราส่วน 1:2	47
10	ลักษณะพื้นที่ทดลองการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ฝายหินเรียง	49
11	ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในน้ำเสียตลอดลำห้วยปลัดแก้วในการเก็บตัวอย่าง เบื้องต้น ครั้งที่ 1 วันที่ 10 พฤศจิกายน 2549	57
12	ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในดินตะกอนตลอดลำห้วยปลัดแก้วในการเก็บตัวอย่าง เบื้องต้นครั้งที่ 1 วันที่ 10 พฤศจิกายน 2549	58
13	ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในน้ำเสียตลอดลำห้วยปลัดแก้ว ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 วันที่ 29 มิถุนายน 2550	61
14	ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในดินตะกอนตลอดลำห้วยปลัดแก้ว เก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 วันที่ 29 มิถุนายน 2550	62
15	ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียดตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝายของพื้นที่ศูนย์สุขภาพ ชุมชน	74
16	ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียดตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝายของพื้นที่ทำการเทศบาล	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียดตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝ่ายของพื้นที่โรงงานขนมจีน	75
18	ประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียงในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน	80
19	ประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียงในพื้นที่ทำการเทศบาล	81
20	ประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียงในพื้นที่โรงงานขนมจีน	91
21	ปริมาณสารหนูในน้ำเสียดตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝ่ายของพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน	91
22	ปริมาณสารหนูในน้ำเสียดตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝ่ายของพื้นที่ทำการเทศบาล	91
23	ปริมาณสารหนูในน้ำเสียดตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝ่ายของพื้นที่โรงงานขนมจีน	92
24	ประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียง. ในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน	97
25	ประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียงในพื้นที่ทำการเทศบาล	97
26	ประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียงในพื้นที่โรงงานขนมจีน	98
27	ปริมาณปรอทในน้ำตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝ่ายของพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน	108
28	ปริมาณปรอทในน้ำเสียดตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝ่ายของพื้นที่ทำการเทศบาล	108
29	ปริมาณปรอทในน้ำเสียดตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝ่ายของพื้นที่โรงงานขนมจีน	109
30	ประสิทธิภาพการบำบัดปรอทด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียงในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน	114
31	ประสิทธิภาพการบำบัดปรอทด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียงในพื้นที่ทำการเทศบาล	114
32	ประสิทธิภาพการบำบัดปรอทด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียงในพื้นที่โรงงานขนมจีน	115

ประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียชุมชนของเทศบาล
ตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง

The Efficiency of Rock Check Dam on Heavy Metal Removals in Huai Yot Sub –
District Community Wastewater, Trang Province

คำนำ

ปัจจุบันการขยายตัวของระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้การเพิ่มขึ้นของชุมชนมีมากขึ้น ส่งผลให้เกิดปัญหาหลายภาวะต่างๆ เพิ่มตามมาอีกด้วย ปัญหาน้ำเสียเป็นปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ในแต่ละวัน ทั้งการดำรงชีวิตและการประกอบอาชีพ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ในน้ำเสียชุมชนซึ่งมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ สารเคมีที่เป็นพิษ สารอาหารของพืช และจุลชีพ ในการปนเปื้อนดังกล่าวนี้ โลหะหนักเป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่เป็นพิษ และเกิดการสะสมในแหล่งน้ำที่รองรับน้ำเสีย ส่งผลให้เป็นอันตรายต่อมนุษย์ที่ใช้แหล่งน้ำในการอุปโภคบริโภค เมื่อคำนึงถึงความสำคัญของปัญหาโลหะหนักในแหล่งน้ำ ทำให้ในหลายๆ หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนต้องเร่งหามาตรการป้องกันและแก้ปัญหา น้ำเสียดังกล่าวด้วย

เทศบาลตำบลห้วยยอดเป็นชุมชนหนึ่งที่มีปัญหาน้ำเสียชุมชนที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก โดยมีการศึกษาปริมาณน้ำเสียของชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอดพบว่าปริมาณน้ำเสียประมาณ 2,208.5 ลบ.ม./วัน ซึ่งในน้ำเสียนี้มีการปนเปื้อนของโลหะหนักพวก ตะกั่ว, สารหนู และปรอทที่มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำที่กำหนดไว้ โดยน้ำเสียเหล่านี้เป็นน้ำเสียที่มาจากบ้านเรือน และกิจกรรมชุมชนเป็นหลัก เช่น ร้านซ่อมรถจักรยานยนต์ ร้านถ่ายเอกสาร สถานพยาบาล เป็นต้น ซึ่งเป็นต้นเหตุให้มีการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำได้ ในอดีตกิจกรรมของชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอดมีการใช้สารเคมีที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักในปริมาณน้อยทำให้การปนเปื้อนในแหล่งน้ำน้อยและเกิดการบำบัดได้เองตามธรรมชาติ แต่ในปัจจุบันการขยายตัวของชุมชนมีเพิ่มขึ้นปริมาณการใช้น้ำ และสารเคมีเพิ่มตามมาทำให้ธรรมชาติไม่สามารถบำบัดได้ตามเดิม ซึ่งถ้าปล่อยให้น้ำเสียเหล่านี้ไหลผ่านคูและลำน้ำสาธารณะขนาดเล็กแล้วไหลลงสู่คลองห้วยยอดและแม่น้ำตรัง โลหะหนักที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียจะไปสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิตของแหล่งน้ำดังกล่าวด้วย

พื้นที่ของเทศบาลตำบลห้วยยอดในปัจจุบันมีที่ตั้งอยู่บนพื้นที่แร่ดีบุกที่สำคัญของจังหวัดตรัง โดยสายแร่ดีบุกนี้จะมีโลหะหนักเป็นธาตุที่อยู่ร่วมกันคือ สารหนู ปะปนอยู่ในสายแร่ด้วย เมื่อมีการดำเนินการต่างๆ ที่จะทำให้สายแร่ถูกเปลี่ยนแปลงไป ทั้งจากกิจกรรมของมนุษย์หรือธรรมชาติ จะทำให้มีสารหนูปนเปื้อนออกมาสู่แหล่งน้ำได้เช่นกัน โดยจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่ไม่ผ่านชุมชนพบว่าในน้ำมีปริมาณสารหนูอยู่ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเกินจากค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่กำหนดไว้ ทำให้เห็นได้ว่าธรรมชาติก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนสมทบในแหล่งน้ำชุมชนด้วยเช่นกัน

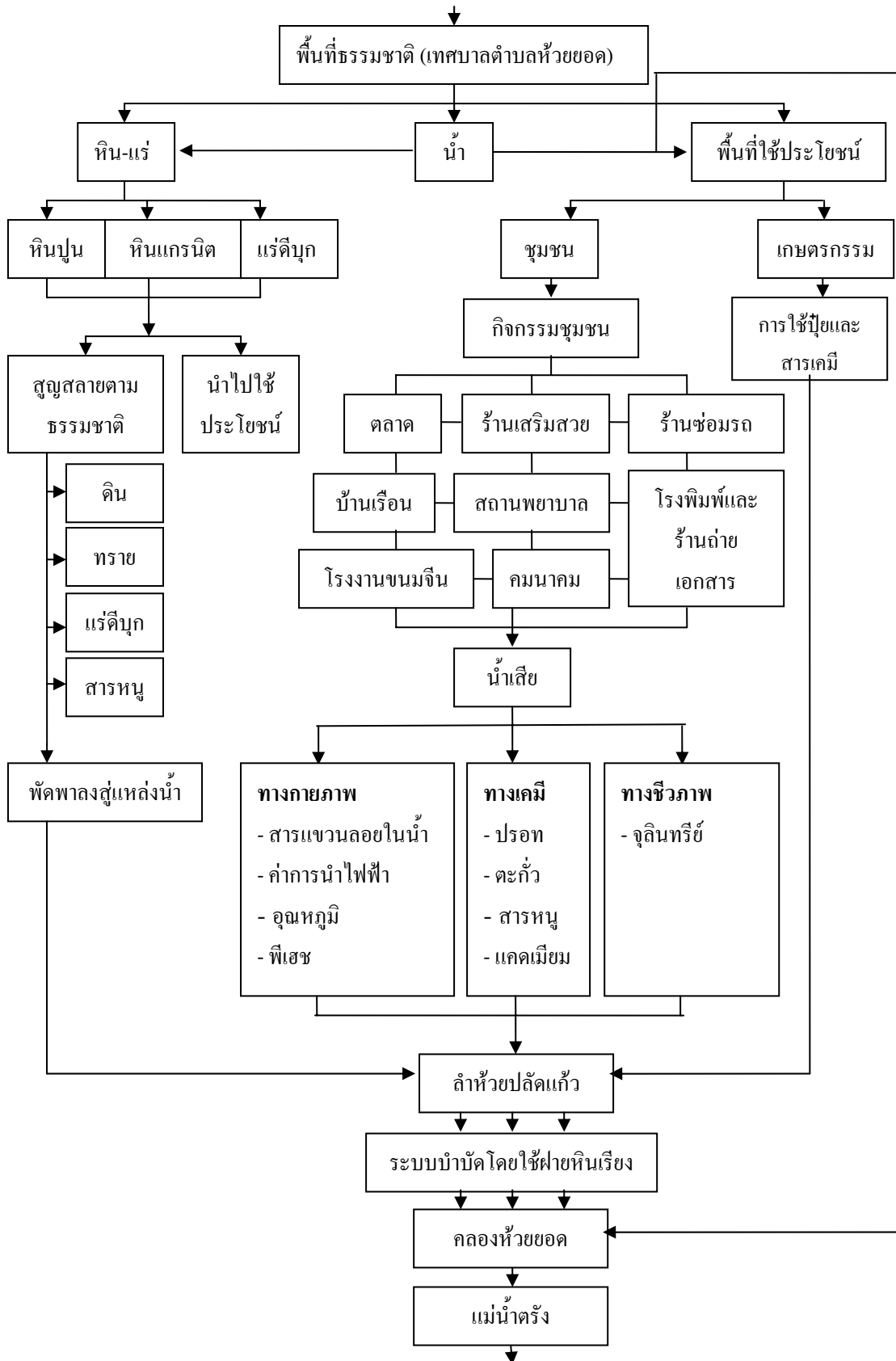
ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักเหล่านี้ก่อนปล่อยออกสู่ธรรมชาติต่อไป มีเทคโนโลยีหลายรูปแบบด้วยกันที่มีส่วนช่วยในการบำบัดน้ำเสีย วิธีการหนึ่งคือการใช้เทคโนโลยีจากธรรมชาติเข้ามาประยุกต์ใช้ โดยการนำฝายหินเรียงที่เป็นตัวช่วยในการป้องกันตะกอนของแหล่งน้ำมาประยุกต์ใช้กับการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้กระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ในการบำบัด ซึ่งใช้กระบวนการลดความเร็วน้ำให้ตะกอนสามารถจับกับโลหะหนักแล้วตกตะกอนอีกทอดหนึ่ง การใช้หินปูนมาก่อนสร้างเป็นตัวจับกับโลหะหนักและยังใช้เป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะเพื่อดูดซับโลหะได้อีกด้วย ซึ่งวิธีการนี้สามารถนำไปตัดพื้นที่และประยุกต์ใช้กับพื้นที่ต่างๆ อีกทั้งยังสามารถหาวัสดุได้ในท้องถิ่นและประหยัด โดยการวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงระยะเวลาในการทดลองที่เหมาะสมต่อบำบัดโลหะหนัก รวมทั้งประสิทธิภาพที่จะได้จาก การบำบัดในครั้งนี้ เพื่อจะได้นำงานวิจัยที่ได้ไปปรับปรุงและพัฒนาเพื่อใช้ในพื้นที่ย่างกุ้งให้เหมาะสมต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอทและสารหนู ในน้ำทิ้งจากชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง
3. เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาเป็นข้อมูลประกอบการวิจัย พัฒนา และปรับปรุงรูปแบบของฝายหินเรียงในการลดปริมาณโลหะหนักเพื่อให้เหมาะในการใช้ประโยชน์ต่อไป

กรอบงานวิจัย

การวิจัยเรื่องประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดโลหะหนักของเทศบาลตำบลห้วยยอด มีกรอบแนวคิดในการดำเนินการ(ภาพที่ 1)คือพื้นที่เทศบาลตำบลห้วยยอดเป็นพื้นที่หนึ่งที่ตั้งอยู่บนพื้นที่ธรรมชาติ เป็นพื้นที่ของแหล่งต้นกำเนิดของหิน-แร่ แหล่งน้ำ และพื้นที่การนำมาใช้ประโยชน์ เช่น ทำเป็นพื้นที่เกษตรกรรม หรือเป็นพื้นที่ชุมชน โดยแหล่งกำเนิดหิน-แร่บริเวณนี้เป็นแหล่งกำเนิดของหินที่สำคัญคือ หินปูน และหินแกรนิต โดยมีสายแร่ดิบูกอยู่ในพื้นที่นี้ด้วย ซึ่งบริเวณพื้นที่หิน-แร่และพื้นที่ใช้ประโยชน์ของชุมชนนี้มีการใช้ประโยชน์จากน้ำที่เกิดขึ้น โดยน้ำจะเป็นตัวละลายหินและแร่ในธรรมชาติ ซึ่งจะสลายตัวกลายเป็นก้อนหิน ทรายและดิน รวมทั้งทำให้สารหนูถูกปนเปื้อนออกมากับน้ำที่ผ่านสายแร่ดิบูกออกมา และพัดพาลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะต่อไป สำหรับพื้นที่ใช้ประโยชน์ของเทศบาลตำบลห้วยยอดนั้นมีการใช้ประโยชน์ อยู่สองประเภทด้วยกันคือ เป็นที่ตั้งของชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งทั้งสองพื้นที่การใช้ประโยชน์นี้จะมีการปลดปล่อยน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของน้ำเสียทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพที่แตกต่างกัน โดยในพื้นที่ชุมชนมีกิจกรรมชุมชนเช่น ตลาด, ร้านเสริมสวย, ร้านซ่อมรถ, บ้านเรือน, สถานพยาบาล, โรงงานขนมจีน, การคมนาคม, โรงพิมพ์และร้านถ่ายเอกสาร รวมทั้งการใช้ปุ๋ยและสารเคมีจากการเกษตร ที่มีการปลดปล่อยน้ำเสียออกมา โดยในน้ำเสียนี้ดัชนีที่มีความสำคัญคือ ทางเคมีโดยเฉพาะ โลหะหนักที่มีการปลดปล่อยออกมาปนกับน้ำเสีย ซึ่งองค์ประกอบของโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่สำคัญของเทศบาลตำบลห้วยยอด เช่น พรอท ตะกั่ว สารหนูและแคดเมียม ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นนี้จะไหลลงสู่ลำห้วยปลัดแก้ว ก่อนไหลลงคลองห้วยยอดและแม่น้ำตรังต่อไป หากไม่มีการบำบัดน้ำเสียเหล่านี้โลหะหนักสามารถสะสมในสัตว์น้ำดินและสัตว์น้ำได้ โดยคนที่บริโภคสัตว์น้ำจะเกิดเป็นอันตรายจากการสะสมโลหะหนักในร่างกายด้วย ดังนั้นปัญหาโลหะหนักเป็นปัญหาที่สำคัญที่ควรได้รับการแก้ไขทำให้จำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อลดปริมาณโลหะหนักก่อนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยวิธีการหนึ่งในการบำบัดโลหะหนักคือการบำบัดโดยวิธีการทางธรรมชาติ โดยใช้ฝายหินเรียงซึ่งเป็นตัวขัดขวางไม่ให้น้ำไหลเร็ว และทำให้เกิดการตกตะกอนของโลหะหนักได้ อีกทั้งหินยังเป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะและทำการดูดซับโลหะหนักในแหล่งน้ำได้อีกทางหนึ่ง ในการวิจัยจะใช้ฝายหินเรียงในพื้นที่ห้วยปลัดแก้ว 3 พื้นที่ทดลองจำนวน 3 ฝายติดกันในแต่ละจุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียทั้งทางกายภาพ ชีวภาพและเคมี เพื่อทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น และสามารถปล่อยออกสู่คลองห้วยยอดและแม่น้ำตรังซึ่งเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต สำหรับรายละเอียดของกรอบแนวคิดไว้ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบงานวิจัย

การตรวจเอกสาร

1. โลหะหนัก

1.1 นิยามและความหมาย

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 22- 34 และ 40-52 ในตารางธาตุ รวมถึงธาตุในอนุกรมแลนทาไนด์ และแอกติไนด์ สิ่งมีชีวิตจะตอบสนองต่อโลหะหนักแต่ละชนิดในลักษณะที่แตกต่างกัน โลหะหนักที่รู้จักกันโดยทั่วไปเช่น ไททาเนียม, วานาเดียม, ดีบุก, โครเมียม, แมงกานีส, เหล็ก, เงิน, นิกเกิล, ตะกั่ว, พรอท, ทองแดง, แคดเมียม, สังกะสี และสารหนู (Murphy *et al.*, 1982) โลหะหนักสามารถก่อให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำ สามารถสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต และถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหารได้ (Hammond and Beliles, 1980)

Wood(1975) โลหะหนักถูกปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำโดยสาเหตุ 2 ประการ คือ จากปรากฏการณ์ธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์ ภายในแหล่งน้ำ โลหะหนักจะกระจายอยู่ในส่วนต่างๆ ของแหล่งน้ำคือ สามารถละลายอยู่ในน้ำ ถูกดูดซับโดยสิ่งของที่แขวนลอยหรือฟุ้งกระจายอยู่ในแหล่งน้ำ(Frenet, 1981)โดยกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้โลหะหนัก แพร่ลงสู่แหล่งน้ำ เช่น วัสดุเหลือใช้และน้ำทิ้งจากชุมชน ซึ่งมาจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมด้านการเกษตรและอุตสาหกรรม ที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดลงสู่แหล่งน้ำ

1.2 แหล่งกำเนิดของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

Bruland (1983) ได้แบ่งแหล่งกำเนิดของโลหะหนักที่พบในสิ่งแวดล้อมไว้ 7 แหล่งด้วยกันคือ

1) การชะล้างจากแผ่นดิน โลหะหนักที่ได้จากแหล่งนี้ ถือเป็นผลพลอยได้ของบริเวณนั้นๆ โดย พบว่า บริเวณใดเป็นแหล่งแร่ของโลหะหนัก ก็จะพบว่าน้ำในบริเวณนั้นมีปริมาณโลหะหนักชนิดนั้นๆ สูงด้วย

2) อุตสาหกรรมการถลุงแร่และโลหะ ในระหว่างการถลุงแร่ จะมีโลหะหนักปนออกมา กับน้ำทิ้งด้วยเสมอ

3) การใช้โลหะและสารประกอบโลหะ ในอุตสาหกรรม เช่น ใช้เกลือโครเมียมในการฟอกหนัง ใช้สังกะสีในการทำท่อ และการใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ จะเป็นแหล่งที่มาของโลหะหนักในแหล่งน้ำด้วย

4) การเผาไหม้เชื้อเพลิง การผลิตซีเมนต์ และอิฐบล็อก เชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน น้ำมัน จะมีโลหะหนักบางตัวสูงเช่น สารหนู, สังกะสี, แคดเมียม, ทองแดง, นิกเกิล และในการผลิตซีเมนต์ พบว่ามีการปลดปล่อยโลหะหนักเช่น สังกะสี, ตะกั่ว และสารหนูออกมาด้วย นอกจากนั้นยังพบว่าบริเวณรอบๆ พื้นที่ที่มีสิ่งก่อสร้างประเภทอิฐ จะมีโลหะสะสมอยู่ค่อนข้างสูง

5) จากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น พบอลูมิเนียม จากโรงงานทำภาชนะอลูมิเนียม และโรงงานอัลลอยด์ สารหนู จากโรงงานผลิตสารฆ่าแมลง แคดเมียม จากโรงงานชุบโลหะ โรงงานทำสีและโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก โครเมียมจากโรงงานชุบโลหะ โรงงานสีและสารฆ่าแมลง ตะกั่ว จากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ โรงงานสีและโรงกลั่นน้ำมัน แมงกานีสจากโรงงานสี โรงงานผลิตแบตเตอรี่แห้งและโรงงานอัลลอยด์ นิกเกิลจากโรงงานชุบโลหะหนักและโรงงานอัลลอยด์ พลวงจากโรงงานสีโรงย้อมสีและสารฆ่าแมลง เงินจากอุตสาหกรรมการผลิตและล้างฟิล์ม และโรงงานชุบโลหะสังกะสีจากโรงงานชุบโลหะและโรงงานทำสี เป็นต้น

6) จากขบวนการพาหนะ ซึ่งเป็นแหล่งใหญ่ ในการกระจายตัวในบรรยากาศ ในแหล่งชุมชน เช่น ตะกั่วที่มาจาก การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น

7) การรั่วออกจากขยะต่างๆ การรั่วของโลหะหนักจากขยะ จะมีผลต่อแหล่งน้ำบนบกหรือบริเวณชายฝั่งทะเล เช่น ขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่มีส่วนประกอบของโลหะหนักบางชนิด เป็นต้น

1.3 การสะสมของโลหะหนัก

สารพิษจากโลหะหนักชนิดต่างๆ เมื่ออยู่ในแหล่งน้ำแล้วสามารถสะสมตัวอยู่ได้ โดยสามารถสะสมตัวอยู่กับตัวกลางชนิดต่าง ๆ เช่น ดินตะกอน ฟิชน้ำ สัตว์น้ำ หรือแขวนลอยอยู่ในน้ำ

อย่างอิสระได้ในปริมาณต่างๆ กัน ซึ่งปริมาณโลหะหนักที่ปะปนหรือสะสมอยู่ในตัวกลางเหล่านี้สามารถที่จะเปลี่ยนรูปหรือเคลื่อนย้ายไปตามห่วงโซ่อาหารได้ ลักษณะการสะสมและการเคลื่อนย้ายในตัวกลางแต่ละชนิดในแหล่งน้ำ สามารถแยกกล่าวรายละเอียดได้ดังนี้

1) การสะสมของโลหะหนักในแหล่งน้ำ สามารถอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ และอยู่ในรูปของสารแขวนลอย ซึ่งความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำมีโอกาสที่จะเปลี่ยนพื้นที่ได้ตลอดเวลา เนื่องจากความสามารถในการผสมผสานของสารที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยและในรูปที่ละลายน้ำแตกต่างกัน โดยเฉพาะในรูปของสารแขวนลอยจะมีระยะเวลาตกค้าง ยาวนานกว่ารูปที่ละลายน้ำได้ และจากการที่น้ำมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลา มีผลทำให้ตะกอนได้น้ำลอยตัวขึ้น (resuspension) จึงมีทั้งขบวนการดูดซับ(adsorption) และการคาย(desorption) ของโลหะหนักที่สามารถเกิดขึ้นระหว่างน้ำและตะกอนดิน (Duinker and Nolting, 1978)

2) การสะสมของโลหะหนักในดินตะกอน ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากการสะสมตัวตามธรรมชาติ ซึ่งได้แก่การละลายของเกลือแร่ที่อยู่บนพื้นดินลงสู่แหล่งน้ำหรือเป็นโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบของธาตุในธรรมชาติตามสภาพทางธรณีวิทยาแล้วละลายออกมาปนอยู่ในน้ำ และอีกส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการใช้และปล่อยโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำโดยกิจกรรมของมนุษย์ โลหะหนักสามารถสะสมอยู่ในดินตะกอน โดยมีความเข้มข้นสูงกว่าที่มีอยู่ในน้ำมาก เนื่องจากมีกระบวนการที่เข้ามาเกี่ยวข้องมากทั้งทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพ องค์ประกอบในดินตะกอนที่มีผลต่อการสะสมโลหะหนัก ได้แก่ พวกคาร์บอนेट ออกไซด์ของแมงกานีสและเหล็ก ตลอดจนองค์ประกอบของสารอินทรีย์ต่างๆ (จิระ, 2526)

3) การสะสมของโลหะหนักในพืชน้ำ สามารถสะสมโลหะหนักได้ด้วยการดูดซับจากน้ำโดยตรงซึ่งพืชน้ำจะไม่สามารถควบคุมปริมาณโลหะหนักในตัวเองได้ และปริมาณการสะสมจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ละลายหรือแขวนลอยอยู่ในน้ำเป็นสำคัญ รวมถึงอายุและชนิดของพืชน้ำด้วย ทั้งนี้พืชน้ำต่างชนิดกันก็จะมีความสามารถที่จะสะสมปริมาณของโลหะหนักได้ไม่เท่ากัน (Bryan, 1969)

4) การสะสมของโลหะหนักในสัตว์น้ำ สัตว์น้ำส่วนใหญ่ได้รับโลหะหนักเข้าไปโดยการกินอาหาร การสะสมของโลหะหนักโดยการดูดซึมจากน้ำเข้าไปโดยตรงของสัตว์น้ำมี

ความสามารถที่น้อยมาก เช่น ผ่านทางเหงือก หรือผิวหนัง การสะสมของโลหะหนักในสัตว์น้ำจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากการบริโภคเป็นส่วนใหญ่

1.4 การจางหายของโลหะหนักในแหล่งน้ำ

ผกา (2535) ได้รายงาน การจางหายของโลหะหนักในแหล่งน้ำไว้ดังนี้คือ ปริมาณโลหะหนักจากแหล่งกำเนิดต่างๆ เมื่อไหลลงสู่แหล่งน้ำนอกจากจะถูกทำให้เจือจางลงและกระจายออกไปแล้ว ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักเหล่านี้ยังอาจลดลงได้ด้วยกระบวนการต่างๆ ดังนี้

1) การตกตะกอน ถ้าความเข้มข้นของโลหะหนัก สูงกว่าค่าการละลายได้ของสารประกอบที่ละลายได้ ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโลหะหนักกับแอนไอออน ในน้ำจำพวก คาร์บอเนต, ไฮดรอกซิล หรือ คลอไรด์ จะทำให้เกิดการตกตะกอนขึ้น อย่างไรก็ตามในแหล่งน้ำที่มีภาวะมลพิษอันเนื่องมาจากในน้ำมีสารอินทรีย์สูง ทำให้น้ำในบริเวณนั้นมีออกซิเจนละลายอยู่ต่ำจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ทำให้โลหะหนักจำพวกสังกะสี ทองแดง, แคดเมียม, ตะกั่ว, ปรอทและเงิน จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเกิดเป็นโลหะซัลไฟด์ที่ละลายน้ำได้น้อยมาก การตกตะกอนจะเกิดขึ้นมาก นอกจากนี้ยังพบว่าในสภาพที่เป็นด่าง การตกตะกอนของโลหะหนักเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้ดีด้วย

2) การดูดซับ โลหะหนักในแหล่งน้ำ สามารถถูกกำจัด โดยการดูดซับไว้ที่ผิวของตะกอนในน้ำ เช่น ดิน แพลงก์ตอน สาร hydrated ferric oxide และ hydrated manganese oxide และพร้อมที่จะตกตะกอนลงมา

3) การดูดกลืน และการแพร่ออกมาใหม่ (redistribution) ด้วยสิ่งมีชีวิตในน้ำ เป็นขบวนการทางชีววิทยาในการกำจัดโลหะหนัก เช่น พืชสัตว์ในดินจะช่วยเร่งให้อนุภาคต่างๆ ของโลหะหนักให้เกิดการรวมตัวกัน โดยวิธีการกินเข้าไปแล้วแพร่กระจายออกมาใหม่ด้วยการถ่ายออกมากับอุจจาระ หรือโดยการลอกคราบทิ้ง รวมทั้งพวกซากพืชซากสัตว์ที่ตายอีกด้วย

1.5 ธรรมชาติและการใช้ประโยชน์ของโลหะหนัก

1) ตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่มีอยู่ในธรรมชาติมีสีเงินปนเทา จัดอยู่ในหมู่ที่ IV A ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 207.19 ค่าความถ่วงจำเพาะ 11.35 จุดหลอมเหลวและจุดเดือด 327 องศาเซลเซียส และ 1,725 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ตะกั่วถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นสารที่นำมาทำให้บริสุทธิ์ได้ง่าย จึงง่ายต่อการหลอม และมีคุณสมบัติที่อ่อน ทนต่อการผุกร่อนได้ดี สามารถตัดพื้นที่ให้มีรูปร่างลักษณะต่างๆ ได้ตามต้องการ กลายเป็นไอได้ดีที่อุณหภูมิสูงๆ ตะกั่วมีเลขออกซิเดชัน ได้หลายค่าคือ +1, +2, และ +4 แต่ตะกั่วส่วนมากจะอยู่ในสภาวะ +2 ซึ่งอยู่ในรูปที่เสถียรที่สุด (Hawley, 1972)

ตะกั่วในธรรมชาติพบกระจายอยู่ทั่วไปในธรรมชาติที่เปลือกโลกมีตะกั่วเฉลี่ย 10 – 15 ppm (พิมล และชัยวัฒน์, 2539) ตะกั่วที่ปรากฏเป็นธาตุอิสระในธรรมชาติมีน้อยมากตะกั่วที่พบในเปลือกโลกทั้งหมดจะอยู่ในรูปของแร่สำคัญ ได้แก่ กาลีนา (PbS), เซรูลไซต์ (PbCO₃) และแองกลีไซต์ (PbSO₄) (สุธรรม และงามพิศ, 2519)

การนำตะกั่วมาใช้ประโยชน์ ตะกั่วถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในปัจจุบันมีการประมาณว่าในปีหนึ่งๆ มนุษย์นำตะกั่วมาใช้ประมาณ 3 ล้านตัน โดยการนำตะกั่วมาใช้ประโยชน์ใน 2 รูป คือในรูปของโลหะ เช่น ทำขั้วไฟฟ้าในแบตเตอรี่ ทำสายเคเบิล ฉนวนกัมมันตรังสี และในรูปสารประกอบเคมีในอุตสาหกรรมพลาสติก และแก้ว ใช้ทำเม็ดสี เช่น ตะกั่วขาว (PbCO₃, Pb(OH)₂) , ตะกั่วแดง (Pb₃O₄, CaPbO₄, PbCr O₄) ซึ่งเม็ดสีเหล่านี้หากใช้ทำของเล่นเด็ก ดินสอจะเป็นอันตรายต่อเด็กมาก หมึกพิมพ์สีต่างๆ ทุกชนิดจะมีตะกั่วเป็นส่วนประกอบซึ่งในหมึกสีเหลือง เขียวจะมีสารตะกั่วมากที่สุด รองลงมาเป็นสีส้ม น้ำเงินและแดง (จูไรรัตน์, 2537) ตะกั่วในน้ำมันเบนซินเป็นแหล่งใหญ่ที่ทำให้เกิดการเจ็บปของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม (Chow, 1978) ตะกั่วเตตราเอทิล และเตตราเมทิล ใช้ผสมในน้ำมัน เพื่อเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมัน เมื่อเกิดการเผาไหม้ตะกั่วก็จะถูกปลดปล่อยออกมกับไอเสียในทางเกษตรกรรม ตะกั่วปะปนอยู่ในปุ๋ยและสารเคมีที่ใช้ในการเพิ่มผลผลิต และปราบศัตรูพืชที่สำคัญได้แก่ ปุ๋ยฟอสเฟต และเลดอะซิเนต (Pb₃(AsO₄)₂) ซึ่งจะมีตะกั่วปะปนอยู่ในปริมาณที่สูง เมื่อถูกนำมาใช้จะทำให้มีตะกั่วตกค้างอยู่ในพื้นที่เกษตรกรรมเป็นจำนวนมาก

การแพร่กระจายของตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อม ตะกั่วเป็นธาตุที่มีอยู่ในธรรมชาติ และได้ถูกนำมาใช้มากจึงทำให้มีปริมาณตะกั่วเจือปนอยู่ในสิ่งแวดล้อม ทั้งในน้ำ ดิน อากาศ และสะสมอยู่ในตัวสิ่งมีชีวิตอยู่เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อมีการนำตะกั่วมาผสมในน้ำมัน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2468 จึงทำให้มีตะกั่วเจือปนในสิ่งแวดล้อมมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ควันเป็นแหล่งแพร่กระจายตะกั่วที่สำคัญ ตะกั่วที่เป็นสารมลพิษจากควันโรงงานส่วนใหญ่อยู่ในรูปแร่ตะกั่ว เช่น PbS , PbO , $PbSO_4$ ทำให้ตะกั่วในบรรยากาศตกลงมาเป็นผงฝุ่น หรือรวมตัวกับความชื้นในบรรยากาศตกลงมาเป็นน้ำฝน สะสมอยู่ตามพื้นดินและแหล่งน้ำ แล้วเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารต่อไปตามลำดับ (สุคนธ์, 2523) และที่สำคัญได้แก่การใช้ปุ๋ย และยากำจัดศัตรูพืช ที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ ทำให้พื้นที่เหล่านี้มีการสะสมของตะกั่วในปริมาณที่สูงกว่าระดับปกติ ทั้งในน้ำ ดิน และดินตะกอน ซึ่งจากกิจกรรมต่างๆ ดังกล่าวจึงทำให้มีตะกั่วเจือปนเข้าสู่ระบบนิเวศ ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่เป็นน้ำจืดมีตะกั่วระหว่าง 1-10 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาณตะกั่วในดินธรรมชาติอยู่ระหว่าง 2-100 มิลลิกรัมต่อ (National Academy of Science, 1973) บริเวณใดมีตะกอนมาก ปริมาณที่พบในน้ำและดินตะกอนจะมากด้วย (Browne *et al.*, 1982)

ในดินตะกอนจะมีปริมาณตะกั่วมากกว่าในน้ำเนื่องจากดินตะกอนมีประจุลบที่สามารถดึงโลหะตะกั่ว จากสารประกอบประเภทเกลือที่ไม่ละลายน้ำของตะกั่วได้ เช่น โลหะซัลไฟด์ โลหะคาร์บอเนต เป็นต้น (Rashid and Leonard, 1973) ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำขึ้นกับค่าพีเอชของน้ำ ถ้าค่าพีเอชต่ำพบตะกั่วในปริมาณมาก ส่วนปริมาณตะกั่วในดินตะกอนจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ สารอินทรีย์ ในดินตะกอน (Onodera, 1985; อธิษฐาน, 2544) ซึ่งถ้าพีเอชต่ำและในดินมีแมงกานีสออกไซด์ เหล็กออกไซด์และอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์สูง จะทำให้เกิด $PbOH^+$ และ $PbOH^{3+}$ ซึ่งสามารถคงอยู่ในดินได้ดียิ่งขึ้น แต่ถ้ามีพีเอชสูง จะทำให้ตกตะกอนในรูปของ $PbOH_2$, $Pb(PO_4)_2$, $PbCO_3$ หรือเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์และมีความเสถียรค่อนข้างมาก (Farrah and Pickering, 1977) สำหรับการดูดซับตะกั่วจากการศึกษาของ Malik (2003) พบว่า *Pseudomonas aeruginosa* มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วที่มีความเข้มข้น 110 mg/g ได้ถึง 80% ในระยะเวลา 2 วัน และ พบว่าในสภาพที่อุณหภูมิและพีเอชที่ปกติ จุลินทรีย์กลุ่ม *Pseudomonas sp.* สามารถย่อยสลายน้ำมันเครื่องยนต์ได้ดี ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ในระยะเวลา 7 วัน จากการทดลองของ Salehizadeh and Shojaosadati (2003) ได้รายงานไว้ว่า *Bacillus firmus* สามารถดูดซับตะกั่วได้ถึงร้อยละ 98.3 ที่พีเอชที่เหมาะสมและพีเอชที่สูงขึ้นจะลดการดูดซับของโลหะหนักของ polysaccharide แต่จะทำให้เกิดการตกตะกอนด้วย ไฮดรอกซิลไอออนได้เพิ่มขึ้นเช่นกัน (Salehizadeh and Shojaosadati, 2003)

ความเป็นพิษของตะกั่ว ตะกั่วเป็นธาตุที่เมื่อได้รับในปริมาณที่มากเกินไปทำให้เกิดอันตรายต่อระบบต่างๆ ในร่างกายของสิ่งมีชีวิต ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางอาหาร ทางผิวหนัง และการหายใจ สามารถสะสมในโลหิต กระดูก ฟัน เล็บ ผม กล้ามเนื้อ น้ำเหลือง (Committee on Lead in the Human Environment, 1980) ถ้าร่างกายได้รับตะกั่วในปริมาณสูงอย่างเฉียบพลันจะทำให้เกิดพิษเฉียบพลัน คือ มีอาการปวดท้องรุนแรง ท้องร่วงอย่างแรง กล้ามเนื้อ ตับ ไต หัวใจล้มเหลว ถึงตายได้ อาการเหล่านี้ส่วนใหญ่จะพบในเด็ก แต่ผู้ใหญ่พบน้อยมาก สำหรับอาการเรื้อรังของตะกั่ว จะทำให้เกิดโรคโลหิตจางเนื่องจากตะกั่วไปขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบิน (Hamond and Beliles, 1980; อธิษฐาน, 2544) เมื่อตะกั่วในเลือดมากกว่า 70 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิเมตร จะเสี่ยงต่อการเป็นโรคประสาท ก่อให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซมที่ต่อมน้ำเหลืองขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ที่มีหมู่-SH ทั้งยังก่อให้เกิดเนื้องอกและมะเร็ง (Popovac *et al.*, 1982)

2) สารหนู

สารหนูมีอยู่ทั่วไปในเปลือกโลกมักพบอยู่ในรูปอาร์ซีไนต์ ของตะกั่ว, เงิน, ทอง, ทองแดง หรือในรูปของสารประกอบซัลไฟด์โดยสารหนูในเปลือกโลกเป็นธาตุที่ขอบอยู่ร่วมกับกำมะถันหรือสินแร่ที่มีซัลไฟด์ สินแร่ของสารหนูที่พบโดยทั่วไป ได้แก่ arsenopyrite (FeAsS), realgar (As_4S_4) ปริมาณสารหนูในเปลือกโลกประมาณ 1.5 – 2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (National Academy of Science, 1977) และ Turekian and Wedpohl (1961) รายงานไว้ว่าในหินชั้น (Shales) หินทราย (Sandstones) และหินปูน (Limestones) มีสารหนูปนอยู่ 12, 1 และ 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Davis *et al.*, 1978) พื้นดินที่ปราศจากการปนเปื้อนใดๆ มีสารหนูอยู่ระหว่าง 0.2- 40 กิโลกรัม (Walsh and Keeney, 1975) สำหรับในน้ำธรรมชาติอาจมีสารหนูปนเปื้อนอยู่ในอัตราความเข้มข้น 1- 2 ไมโครกรัมต่อลิตร (Hindmarch *et al.*, 1986)

การใช้ประโยชน์ สารหนูนำมาใช้ประโยชน์ในการเกษตรกรรมใช้เป็นสารฆ่าแมลง และสารปราบศัตรูพืชในรูปของสารประกอบชนิดต่างๆ เช่น lead arsenate [$\text{Pb}_3\text{OH}(\text{AsO}_4)_3$], calcium arsenate [$\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$], copper acetoarsenate [$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}\cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$], copper arsenite [CuHAsO_3] และ disodium methyl arsenate [$\text{CH}_3\text{AsNa}_2\text{O}_3$] นำมาใช้ในยาฆ่าพยาธิและยาฆ่าเชื้อโรคบางชนิด เช่น เชื้อซิฟิลิส (มัญญ และสิทธิชัย, 2520) นอกจากนี้ยังนำมาใช้ในการผลิตสีข้อม เม็ดสี (สุนทร, 2542) การผลิตแบตเตอรี่ที่มีการใช้สารหนูแซกครดซัลฟิวริก ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายในรูปของอาร์ซีน (มัญญ และสิทธิชัย, 2520)

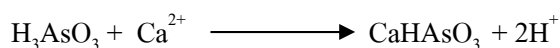
การแพร่กระจายของสารหนูในสิ่งแวดล้อม สารหนูแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทางด้วยกัน ที่สำคัญ คือ การใช้สารกำจัดศัตรูพืชที่มีสารหนู การทำเหมืองแร่ เป็นต้น อีกทั้งมีการแพร่กระจายด้วยขบวนการธรรมชาติเช่น การระเบิดของภูเขาไฟ การผุพังของหินและแร่ ที่มีสารหนูในรูปของสารประกอบซัลไฟด์สะสมตัวอยู่ ซึ่งสามารถปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและลงสู่แหล่งน้ำได้ สารประกอบซัลไฟด์ของสารหนูนี้ ปกติจะไม่ละลายหรือละลายได้น้อยมาก แต่เมื่อได้รับความร้อน ความชื้น และอากาศจากธรรมชาติ จะสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมี เปลี่ยนพื้นที่ไปเป็นสารประกอบออกไซด์ ซึ่งละลายน้ำได้ดี และในบางครั้งก็สามารถเกิดการออกซิเดชันกำมะถัน กลายเป็นกรดกำมะถันซึ่งสามารถละลายเหล็กและสารหนูลงในน้ำได้ เช่นจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่ดีบุก ทำให้สารหนูในรูปอาร์ซีโนไฟไรต์ ที่ปนอยู่กับสายแร่ถูกชะออกมาด้วย ในกระบวนการแยกแร่ ออก อาร์ซีโนไฟไรต์ถูกแยกออกมากับหางแร่และทิ้งไว้ ทำให้ถูกจุลินทรีย์พวก *Thiobacillus thiooxidans* นำมาใช้เป็นตัวให้อิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจเมื่อแร่เหล่านี้สัมผัสอากาศทำให้กลายเป็นกรดกำมะถันทำให้สารหนูละลายออกมา (กรมทรัพยากรธรณี, 2531)

บริเวณที่จัดว่าอยู่ในกลุ่มความเสี่ยง ได้แก่ เหมืองแร่ถ่านหิน ดีบุก ทองคำ ตะกั่วและเงิน ที่ปิดทำเหมือง และไม่ได้มีการจัดการเหมืองแร่ที่ดี ไม่มีการจัดเก็บกากแร่ มีการปล่อยทิ้งไว้ให้สัมผัสกับน้ำ และอากาศ ซึ่งเร่งให้เกิดการสลายตัวของแร่ที่มีสารหนู เป็นองค์ประกอบหรือโลหะต่างๆ เช่น ตะกั่ว ปรอท ปนเปื้อน และแพร่กระจายไปตามแหล่งน้ำต่างๆ สารหนูในแหล่งน้ำจืดจะพบในรูปสารประกอบอนินทรีย์ที่ละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอาจถูกดูดซับหรือจับกับฮิวมิกและอนุภาคอินทรีย์ในน้ำเกิดสารประกอบเชิงซ้อนแหล่งน้ำมีสภาพแอโรบิกและมีพีเอชเป็นกลางค่อนข้างเป็นด่าง สารหนูจะอยู่ในรูปอาร์ซีเนต (AsO_4^{3-}) แต่ถ้าแหล่งน้ำอยู่ในสภาพแอนแอโรบิกจะพบสารหนูในรูปอาร์ซีไนต์ (AsO_3^{3-}) ก่อนแล้วจึงเปลี่ยนรูปไปเป็นก้ำซอร์ซิน และ/หรือเกิดเป็นสารประกอบอาร์ซีนิกซัลไฟด์ (Woolson, 1977)

สารหนูสามารถสะสมในดินตะกอนได้ด้วยการเกิดการตกตะกอน (Precipitation) และการดูดซับ (adsorption) ขึ้นกับปัจจัยโดยรอบ ได้แก่ สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ เช่น กรดอะมิโน กรดฮิวมิก และสารลิแกนด์ ซึ่งจะเกิดการรวมตัวกับสารหนูเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน โดยสารหนูที่อยู่ในรูปแอนไอออนหลายรูป เช่น AsO_2^- , AsO_4^{2-} และ HAsO_4^{2-} ที่ถูกตรึงในดินที่พีเอช 7 -9 ได้ สำหรับสารหนูในรูปของอาร์ซีเนต (AsO_4^{3-}) จะมีลักษณะคล้ายฟอสเฟตที่สามารถดูดซับอยู่กับไฮดรอกไซด์ เหล็กออกไซด์และอลูมิเนียมออกไซด์ สารหนูจะตกตะกอนร่วมกับสารประกอบของแคลเซียม กำมะถัน เหล็ก อลูมิเนียม และแบเรียมในน้ำรวมทั้งแร่ดินเหนียว และฮิวมัสด้วย (ศุภมาส, 2539) เกิด

เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ อย่างไรก็ตาม Landner (1989) กล่าวว่าสารหนูที่ละลายในน้ำโดยส่วนใหญ่มักดูดซับอยู่บนพื้นผิวของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์อัตราเร็วในการตกตะกอนจะช้ากว่ากระบวนการดูดซับ สารหนูในดินตะกอนจะอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ สารหนูทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ของเหล็ก อลูมิเนียม ที่อยู่บนผิวของอนุภาคดินเหนียวหรือทำปฏิกิริยาร่วมกับไอออนบวกในสารละลายดิน โดยที่พีเอช 9 สามารถทำให้ซัลเฟตตกตะกอนอาร์ซีเนต(AsO_4^{3-}) ได้ดี (Fernandez – Martinez. *et al.*, 2006)

การศึกษาของ Román-Ross *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาการดูดซับสารหนูโดยใช้แคลไซต์ ซึ่งสามารถดูดซับสารหนูที่อยู่ในรูปของ H_3AsO_3^0 ซึ่งเป็นชนิดของสารหนูที่สามารถพบได้ในแหล่งน้ำใน pH 7.0-9.0 นั้นสารหนูสามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับแคลไซต์ทำให้เกิดการตกตะกอนเป็น $\text{CaHAsO}_3(s)$ ได้ดังนี้



โดย CO_3^{2-} จะถูกแทนที่ด้วย HAsO_3^{2-} ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์ภายในหินปูนด้วยว่าจะมีขนาดที่จะใหญ่เพียงใด โดยการวิจัยพบว่าเซลล์ที่มีช่องว่างภายใน 2 x 2 x 1 ขนาด 406 mM/ kg และ 791 mM/ kg และช่องว่าง 3 x 2 x 1 ขนาด 273 mM/ kg สามารถดูดซับสารหนูได้หนึ่งถึงสองเซลล์ขนาดเซลล์ 22 ± 6 , 24 ± 10 และ 38 ± 6 mM/ kg ตามขนาดเซลล์ของหินปูน

สำหรับในประเทศไทย ได้มีรายงานการพบสารหนูในบ่อน้ำใช้บริโภค บริเวณอำเภอ ร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ในปี พ.ศ. 2530 และอำเภอบ้านนังสตาร์ จังหวัดยะลา สารหนูที่พบเป็นสารหนูที่ปนเปื้อนในดิน มีปริมาณตั้งแต่ 21-16,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Visoottiviset *et al.*, 2002) สารหนูที่พบในอำเภอร่อนพิบูลย์ส่วนใหญ่อยู่ร่วมกับสายแร่ดิบุก โดยสารหนูจะอยู่ในรูปของ arsenopyrite (FeAsS) หรือในรูปอื่นซึ่งมีซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบ (กรมทรัพยากรธรณี, 2531)

ความเป็นพิษของสารหนู สารหนูในรูปของเกลืออนินทรีย์จะมีพิษร้ายแรงกว่าธาตุบริสุทธิ์ซึ่งแตกตัวเป็นไอออนไม่ได้และมีพิษสูงกว่าสารหนูอินทรีย์ แต่สารหนูอินทรีย์บางตัวอาจถูกออกซิไดซ์ให้กลายเป็นเกลืออนินทรีย์ได้เมื่อเข้าสู่ร่างกาย (มัญญ และสิทธิชัย, 2520) สารประกอบสารหนูสามารถซึมเข้าทางเดินอาหาร ปอด ผิวหนังได้ง่ายและรวดเร็ว ไปสะสมที่ ตับไต ผังทางเดินอาหาร เส้นผม ขน เล็บ และสมอง ผู้ที่ได้รับสารหนู เข้าไปจะปรากฏมีรอยพาดสีจาวบนเล็บมือและเล็บเท้าแสดงถึงการหยุดการเจริญเติบโตของเล็บ สารประกอบสารหนูที่เป็น As^{3+} เข้าไปรวมกับหมู่

ไฮดริล (-SH) ของโปรตีนและเอนไซม์ glutathione, cysteine ในเซลล์ จึงทำให้ระบบออกซิเดชันรีดักชันและเมตาบอลิซึมของเซลล์ไม่สามารถทำหน้าที่ได้ตามปกติจึงเกิดความเจ็บปวดขึ้น ทำให้เกิดการสลายตัวของเม็ดเลือดแดง (haemolysis) เกิดการทำลายเซลล์ของตับ ม้าม และไต อาการที่จะสังเกตเห็นคือ ปัสสาวะจะมีสีแดง มีอาการดีซ่าน และโลหิตจาง ปวดหัว อาเจียน หนาวสั่น มีไข้ ปัสสาวะไม่ออก ปวดเอว และเสียชีวิตในที่สุด (มณูญ และสิทธิชัย, 2520)

3) พรอท

พรอทเป็นธาตุโลหะชนิดหนึ่งมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องมีสีขาวคล้ายเงิน จึงได้ชื่อว่า เงินเหลว แต่ก็สามารถแปรสภาพเป็นของแข็งได้ แต่จะมีความเปราะ และระเหยเป็นไอได้ พรอทมีคุณสมบัติสะท้อนแสงได้ และเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เป็นโลหะที่อยู่ในหมู่ II B ในตารางธาตุ น้ำหนักอะตอม 200.59 เลขอะตอม 80 ความถ่วงจำเพาะ 13.46 ที่ 20 องศาเซลเซียส มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือด -38.9, 356.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ความหนาแน่น 13.546 g/cm^3 ที่ 0 องศาเซลเซียส ความดันไอ 1.85×10^{-3} ทอร์ ที่ 40 องศาเซลเซียส, 270×10^{-3} ทอร์ ที่ 100 องศาเซลเซียส ละลายน้ำได้บ้างเล็กน้อย ความสามารถในการละลายเท่ากับ $6.4 \times 10^{-5} \text{ g/l}$ ที่ 25 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังสามารถละลายเป็นอมัลกัมกับโลหะหลายชนิดได้แก่ สังกะสี ตะกั่ว และทองคำ ยกเว้นเหล็กเท่านั้น (Berman, 1980) พรอทมีความสามารถในการละลายได้ง่ายเป็น Hg^{2+} ซึ่งคล้ายกับไอออนของ Ca^{2+} ในน้ำและจะนำไปสู่การกลายเป็น Hg^0 ที่สามารถเข้าสู่ร่างกายได้และก่อให้เกิดพิษได้ (Pekel *et al.*, 1993)

แหล่งกำเนิด พรอทเป็นโลหะที่พบในธรรมชาติในรูปแร่อิสระ หรือ ปะปนอยู่ในเนื้อหินประเภทต่างๆ เช่น หินปูนหรือหินทราย เป็นต้น ในสารประกอบแร่ cinnabar (HgS) และยังมีปะปนอยู่กับซัลไฟด์ของสินแร่อื่นๆ เช่น สังกะสี ตะกั่ว เหล็ก (Winterigham, 1972; McNeely *et al.*, 1979) ที่เปลือกโลกจะมีพรอทเป็นส่วนประกอบอยู่ประมาณ 27 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ในหินภายใต้เปลือกโลกประมาณ 0.01 – 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Weast, 1963)

การนำมาใช้ประโยชน์ พรอทได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น ทำเทอร์โมมิเตอร์ บารอมิเตอร์ ตะเกียงไอพรอท อุตสาหกรรมพลาสติก สี กระจาย อุตสาหกรรมผลิตโซดาไฟและคลอรีน สารฆ่าเชื้อรา สารกำจัดแมลง สารถนนเนื้อไม้และเมล็ดพืช ยารักษาโรค เช่น ยา

ขับปัสสาวะ ยาสวนทวาร ยาปฏิชีวนะ ทำโลหะผสม ใช้สกัดทองคำจากแร่ทองคำ การผลิตของเด็กเล่น เป็นต้น (รพีพัฒน์, 2542)

การแพร่กระจายของปรอทในสิ่งแวดล้อม ปรอทสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้จากการผุพังของหินและแร่ การระเบิดของภูเขาไฟ การไหลบ่าของน้ำ การชะล้างของฝน การปนเปื้อนของปรอทในสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากธรรมชาติมีน้อยมากถ้าเปรียบเทียบกับผลกระทบของมนุษย์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การทำเหมืองแร่ การเผาไหม้ น้ำมันเชื้อเพลิง ถ่านหิน อุตสาหกรรม เหมืองแร่ อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ เป็นต้น (Benett, 1982) โดยปรอทที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อมมี 2 รูป คือ ปรอทอินทรีย์ และปรอทอนินทรีย์ เมื่อปรอทลงสู่แหล่งน้ำมีโอกาสมะสมในห่วงโซ่อาหารได้ (เปี่ยมศักดิ์, 2525)

ปรอทได้ถูกปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำแล้ว บางส่วนจะเข้าไปดูดซับอยู่กับอินทรีย์วัตถุที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ซึ่ง Bothner and Carpenter (1972) ได้รายงานว่าปริมาณ 50-70 % ของปรอทไอออนในแม่น้ำโคลัมเบียจะเข้าไปเกาะติดอยู่กับวัตถุแขวนลอยที่อยู่ในน้ำภายใน 10-60 ชั่วโมง แล้วก็เกิดการตกตะกอนลงสู่พื้นของแหล่งน้ำในเวลาต่อมา (Hammerz, 1969) สารแขวนลอยในน้ำจะทำหน้าที่คล้ายๆ กับตัวกำจัดปรอทออกไปจากน้ำ

ปรอทอนินทรีย์ที่อยู่ในตะกอนของพื้นก้นแหล่งน้ำมีโอกาสเปลี่ยนเป็นปรอทอินทรีย์ในรูปของ methyl mercury (CH_3Hg) ปรอทรูปนี้สามารถละลายน้ำได้ดีมาก อย่างไรก็ตามถ้าสถานะที่พื้นก้นแหล่งน้ำเป็นแบบ ไม่มีอากาศ ปรอทก็ไม่สามารถถูกเปลี่ยนให้เป็นปรอทอินทรีย์ได้ (Jemelov, 1969) ซึ่งในการเปลี่ยนรูปของปรอทอนินทรีย์ไปเป็นปรอทอินทรีย์นั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ความเป็นกรด - ด่างของน้ำ ปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน ชนิดและปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ในดินตะกอน เป็นต้น โดยปรอทสามารถเปลี่ยนรูปเป็นปรอทอินทรีย์ได้โดยขบวนการทางชีวภาพ (Hutzinger *et al.*, 1975) เพราะจุลินทรีย์ในแหล่งน้ำ เช่น *Clostridium cochlerium* สามารถเปลี่ยนรูปสารอนินทรีย์ของปรอทและสารอินทรีย์ของปรอทอื่น ๆ ให้เป็น methyl mercury ซึ่งเป็นรูปที่อันตรายที่สุดของปรอท โดยเมื่อปรอทลงสู่แหล่งน้ำจะมีโอกาสสะสมตามห่วงโซ่อาหาร

ความเป็นพิษของปรอท แต่ละรูปแบบจะไม่เท่ากันปรอทอินทรีย์จะมีพิษร้ายแรงกว่าปรอทอนินทรีย์ อาการที่เกิดจากพิษของปรอทมีทั้งอาการพิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรัง อาการที่เป็นพิษเฉียบพลัน จะเป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจ เซลล์เยื่อเมือกเกิดอาการระคายเคือง ปากคอไหม้มีรส

โลหะตีคปาก ชีพจรเต้นเร็วแต่ไม่สม่ำเสมอ ท้องเสีย อุจจาระเป็นเลือด อาเจียน หมดสติและถึงตาย (Berman, 1980) สำหรับอาการพิษเรื้อรัง จะแสดงอาการปวดศีรษะ วิงเวียน ตกใจง่าย ตามัว มือสั่น ต่อมไทรอยด์โตตลอดเวลา มีอาการทางประสาทกังวล นอนไม่หลับ (Goldwater and Stopford, 1977) ความเป็นพิษของปรอทยังขึ้นกับส่วนประกอบอื่นๆ เช่น ความเป็นพิษจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Macleod and Pessah, 1973)

4) แคดเมียม

แคดเมียมมีคุณสมบัติเป็นโลหะอ่อนสีเงินอยู่ใน IIB ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 48 มวลอะตอม 112.40 จุดหลอมเหลว 320.9°C จุดเดือด 767°C ความหนาแน่น 8.65 g/cm^3 มีเลขออกซิเดชันเพียงค่าเดียวคือ +2 แคดเมียมเป็นโลหะที่อ่อนมาก ถ้าให้ความร้อนแก่แคดเมียมในอากาศ แคดเมียมจะระเหยได้ง่ายและสามารถถูกไหม้เป็นเปลวไฟสว่าง (พิมลและชัยวัฒน์, 2539) แหล่งกำเนิด แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยในธรรมชาติพบบนเปลือกโลกเฉลี่ย 0.1 – 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มักพบเจือปนอยู่กับสังกะสี ตะกั่ว ทองแดง และปรอท มักมีปริมาณสูงขึ้นในเนื้อหิน หินอัคนีและหินแปรมีแคดเมียมไม่เกิน 1-2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินที่สลายจากหินอัคนีมีแคดเมียม 0.1 – 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินที่สลายจากหินแปรมีแคดเมียม 0.1 – 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในพื้นที่ซึ่งปราศจากกิจกรรมของมนุษย์และไม่ได้รับการปนเปื้อนใดๆ พบว่าแคดเมียมในดินประมาณ 0.2 – 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

สำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ แคดเมียมถูกใช้ประโยชน์ในหลายๆ ด้าน เช่น ชุบโลหะด้วยไฟฟ้าเพื่อป้องกันสนิม อุตสาหกรรมรถยนต์ ผสมสีผง ยาง แบตเตอรี่ ใช้ในทางการแพทย์ ทันตแพทย์ ทำโลหะผสม เช่น แคดเมียม – ทองแดงซึ่งมีความคงทนต่อแรงกระแทกและทนต่ออุณหภูมิสูง โลหะผสมแคดเมียม – นิกเกิล ใช้ในการทำแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟใหม่ได้ โลหะผสมแคดเมียม – เงิน ใช้ผสมเพื่อไม่ให้เงินดำเมื่อสัมผัสกับซัลไฟด์ (Reilly, 1980) มีการนำแคดเมียมผสมในน้ำมันดีเซล ทำให้แคดเมียมในฝุ่นละอองและดินบนบริเวณข้างถนนในปริมาณมาก (Amrhein and Strong, 1990) นอกจากนี้ยังนำแคดเมียมมาใช้ในสารกำจัดเชื้อราและปุ๋ย โดยเฉพาะปุ๋ยฟอสเฟตจะมีแคดเมียมเจือปนมากกว่าปุ๋ยชนิดอื่น (พิมล และชัยวัฒน์, 2539)

แคลเซียมในแหล่งน้ำอยู่ในรูปคอลลอยด์และไอออนอิสระ แคลเซียมในรูปของเกลือออกไซด์ เกลือคาร์บอเนต และเกลือซัลไฟด์จะมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ แต่แคลเซียมในรูปของเกลือซัลเฟต เกลือไนเตรต และเกลือในกลุ่มเฮไลด์ (halides) จะละลายน้ำได้ดี นอกจากนี้ความสามารถในการละลายของแคลเซียมยังขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายในน้ำ ชนิดของซัลไฟด์ที่แขวนลอยอยู่ ค่าพีเอช และความกระด้างของน้ำ (สิทธิชัย, 2541) แหล่งน้ำธรรมชาติที่มีความกระด้างเพิ่มขึ้นจะมีแคลเซียมละลายน้อยลง แหล่งน้ำในบริเวณ reduction zone โดยเฉพาะบริเวณ โคลนซึ่งมีไฮโดรเจนซัลไฟด์สูง แคลเซียมรวมตัวกับกำมะถันและตกตะกอนลงมาอยู่ในรูปของ greenochite จึงทำให้บริเวณนี้มีแคลเซียมในปริมาณสูง

ปริมาณแคลเซียมในดินตะกอน เป็นสัดส่วน โดยตรงกับปริมาณสารอินทรีย์ดิน ตะกอน โคลน ฮิวมัสที่ประกอบอยู่และมีส่วนสำคัญในการดูดซับแคลเซียม กระบวนการดูดซับ จึงเป็นกระบวนการสำคัญที่ลดปริมาณแคลเซียมในแหล่งน้ำ แคลเซียมถูกดูดซับได้ง่ายเมื่อมีปริมาณต่ำคือ 0.1 มิลลิกรัมแคลเซียมต่อกิโลกรัมของดิน (Hirsch and Banin, 1990) การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์สามารถลดความเข้มข้นแคลเซียมในดินได้ (Francis and Dodge, 1988)

ความเป็นพิษของแคลเซียม ก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์ได้มาก โดยเมื่อเข้าสู่ร่างกาย แคลเซียมจะยับยั้งการทำงานของระบบเอนไซม์ โดยรบกวนการทำงานของเอนไซม์และโปรตีนที่มีโลหะประกอบ (ศุภมาศ, 2539) ความเป็นพิษของแคลเซียมในมนุษย์มีผลทั้งเฉียบพลัน และเรื้อรัง โดยเข้าสู่ร่างกายทางระบบทางเดินหายใจ และระบบทางเดินอาหาร และจะสะสมในร่างกายในปริมาณที่มากตามอายุที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีการประมาณว่าคนทั่วไปที่มีอายุ 50 ปี มีแคลเซียมสะสมในร่างกาย 10 มิลลิกรัม ถึง 60 มิลลิกรัม ขึ้นกับโอกาสที่คนนั้นจะได้รับแคลเซียมจากแหล่งต่างๆ (พิมลและชัยวัฒน์, 2539) ความเป็นพิษเฉียบพลันจะทำให้เกิดอาการปวดหัว ปวดท้องอย่างแรง เสมหะมาก เจ็บหน้าอก หายใจไม่ออก อาเจียน อาจทำให้ช็อคหมดสติ และตายภายใน 24 ชั่วโมง หรือภายใน 1 ถึง 2 สัปดาห์ สำหรับความเป็นพิษเรื้อรังเนื่องจากได้รับแคลเซียมติดต่อกันเป็นระยะเวลานานจะก่อให้เกิดผลเสียต่อการสร้างกระดูก โดยจะไปลดการสะสมของแคลเซียม ทำให้กระดูกผุกร่อน เสียวรูป และทำให้เจ็บปวดมาก เรียกอาการลักษณะนี้ว่า โรคอิต – อิต นอกจากนี้ยังทำให้เกิดโรคโลหิตจาง ความดันโลหิตสูง ไตทำงานผิดปกติ ปอด ตับ ตับอ่อน ระบบทางเดินอาหาร ระบบประสาทส่วนกลาง และเส้นประสาทถูกทำลาย (สิทธิชัย, 2528)

5) มาตรฐานของโลหะหนัก

โลหะหนักและสารประกอบของโลหะหนักเกือบทุกชนิดสามารถก่อให้เกิดพิษได้ ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกายโดยอาจทำให้เกิดการเจ็บป่วย พิการหรือตายได้ถ้าได้รับในปริมาณที่สูงเกินไป ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมมิให้เกินกว่าที่กำหนดไว้เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต สำหรับโลหะหนักที่ทำการศึกษาได้แก่ ตะกั่ว, สารหนูและปรอทนั้น มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ได้กำหนดให้มีปริมาณตะกั่วไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร สารหนูไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรอทไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร และมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ได้กำหนดให้มีปริมาณตะกั่วไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร สารหนูไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรอทไม่เกิน 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร (ฝ่ายพัฒนาและผลิตสื่อ, 2541)

1.6 การบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้ฝายหินเรียง

1.6.1 แนวทางการบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสีย (wastewater treatment) หมายถึง การดำเนินการเปลี่ยนแปลงสภาพของเสียในน้ำเสียให้อยู่ในสภาพที่มีความเหมาะสมพอที่จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อแหล่งรองรับน้ำเสียนั้นๆ ซึ่งโดยปกติแล้วธรรมชาติสามารถปรับเปลี่ยนน้ำเสียได้ ถ้าปริมาณและความสกปรกของน้ำเสียไม่มากจนเกินไป แต่ในปัจจุบันจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้นทำให้ปริมาณน้ำใช้มากขึ้นจึงเป็นสาเหตุให้น้ำเสียเพิ่มขึ้น รวมถึงประเภทของกิจกรรมที่มากขึ้นจึงยังเป็นการเพิ่มทั้งปริมาณและคุณภาพของน้ำเสีย ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องแก้ไขก่อนเกิดปัญหาการขาดแคลนแหล่งน้ำสะอาด (พัฒนา, 2539)

วิธีการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันมีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งเกรียงศักดิ์ (2539) และเกษม(2541) ได้กล่าวถึงวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ประเภทต่างๆ โดยสรุปได้ดังนี้

1) วิธีการทางกายภาพ คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่ใช้หลักการทางกายภาพโดยอาศัยแรงทางฟิสิกส์ เช่น แรงโน้มถ่วง แรงเหวี่ยง แรงหนีศูนย์กลาง เป็นต้น จากเครื่องมือต่างๆ เพื่อแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย ซึ่งมีหลายวิธี เช่น การคัดด้วยตะแกรง (screening) การตัดย่อย (comminution) การกวาด (skimming) การกวน (mixing) การทำให้ลอย (floatation) การตกตะกอน (sedimentation) การแยกตัวด้วยแรงเหวี่ยง (centrifugation) การกรอง (filtration) และการกำจัดตะกอนหนัก (grit removal) เป็นต้น

2) วิธีการทางเคมี คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียโดยการเติมสารเคมีลงในน้ำเสียเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อแยกแอมลสารต่างๆ ออกจากน้ำเสีย ซึ่งมีหลายวิธี เช่นการตกตะกอนผลึกทางเคมี (chemical precipitation) การทำให้เป็นกลางหรือการสะเทิน (neutralization) การฆ่าเชื้อโรค (disinfection) และการเกิดออกซิเดชันรีดักชันทางเคมี (chemical oxidation – reduction) เป็นต้น

3) วิธีการทางชีววิทยา คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์เป็นตัวช่วยในการเปลี่ยนสภาพน้ำเสีย โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำในสภาพที่มีออกซิเจน หรือไม่มีออกซิเจนก็ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้ได้แก่ แบคทีเรีย โปรโตซัว สาหร่าย รา และโรติเฟอร์ วิธีการทางชีววิทยามีหลายวิธี เช่น แอกกิเวเตตสลัดจ์ (activated sludge) บ่อเติมอากาศ (aerated pond) ถังกรองจุลชีพ (trickling filter) แผ่นจานหมุนชีวภาพ (rotating biological contactor) การย่อยแบบแอนแอโรบิก (anaerobic digestion) และถังกรองไร้อากาศ (anaerobic filter) เป็นต้น

4) วิธีการทางกายภาพเคมี คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยทั้งทางกายภาพ และทางเคมีมารวมกัน เพื่อใช้กำจัดสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย ซึ่งมีหลายวิธี เช่น การดูดซับด้วยถ่าน (carbon adsorption) การแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) ออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis) และการแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง (electrodialysis) เป็นต้น

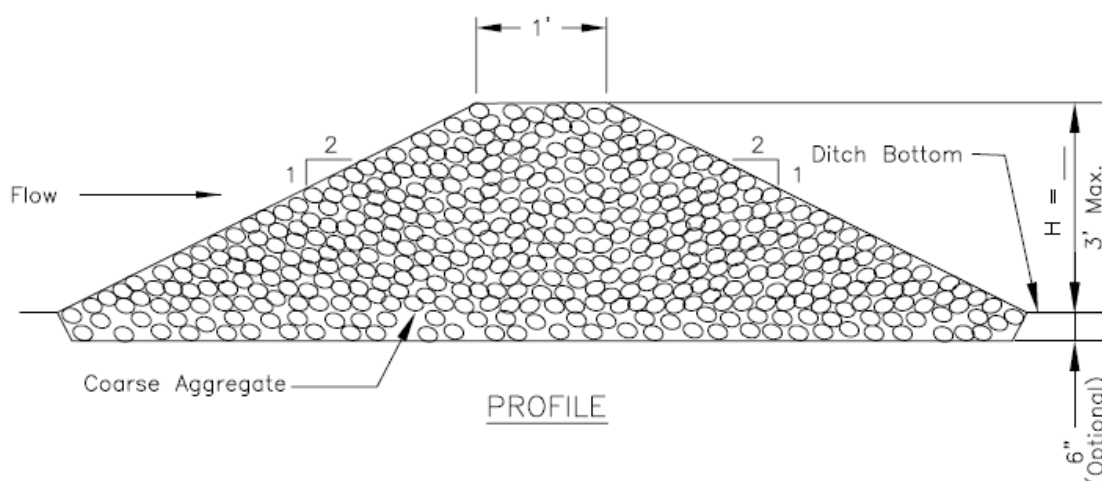
1.6.2 ฝ่ายหินเรียง

ฝ่ายหินเรียง หมายถึง การสร้างฝายกั้นลำน้ำ ทางน้ำ ร่องน้ำ คูน้ำ โดยใช้หินมาเรียงให้เป็นรูปร่าง อย่างเป็นระเบียบโดยสามารถสร้างขึ้นแบบถาวรหรือชั่วคราวได้ซึ่งโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยม เพื่อให้น้ำตามธรรมชาติสามารถไหลผ่านก้อนหินหรือไหลล้นข้ามฝายไปได้โดยไม่เกิดความเสียหาย โดยใช้หินก้อนใหญ่วางเป็นฐานเพื่อความแข็งแรง และใช้หินขนาด

ลดหลั่นกันลงมาวางเรียงเป็นรูปฝาย โดยเพื่อใช้ในการลดการชะล้างจากการพังทลายของดินในพื้นที่รับน้ำ และช่วยในกักตะกอนดินไม่ให้ไปมีผลต่อแหล่งน้ำด้วย (Gray and Leiser. 1982)

1) ลักษณะการก่อสร้างฝายหินเรียง

การก่อสร้างฝายหินเรียง โดยการใช้หินที่มีอยู่ในลำห้วยเรียงเป็นชั้นๆ ขวางลำห้วย ใช้หินก้อนใหญ่วางเป็นฐานเพื่อความแข็งแรง และใช้หินขนาดลดหลั่นกันลงมาวางเรียงเป็นรูปฝายที่มีความลาดเทรับแรงกระแทกของน้ำด้านหน้าฝาย และลาดเทลงด้านท้ายฝายโดยมีความลาดมากกว่าด้านหน้าฝายเพื่อเร่งกันเซาะฐานฝาย (คณิต, 2546) การสร้างฝายจะสามารถทำให้เกิดแอ่งน้ำ ถ้าปริมาณน้ำในแอ่งน้อยน้ำจะไหลซึมผ่านตัวโครงสร้างฝายไป แต่ถ้ามีปริมาณน้ำมากน้ำก็จะไหลล้นตัวฝายไปได้



ภาพที่ 2 ลักษณะของฝายหินเรียง

ที่มา : Natural Resources Conservation service ,1999

2) วิธีการออกแบบฝาย

การสร้างฝายนั้นจำเป็นที่จะต้องเลือกรูปแบบที่เหมาะสมเพื่อที่จะทำให้ฝายสามารถดำเนินการได้ดีที่สุด ซึ่งวิธีการออกแบบที่เหมาะสมมีดังนี้

2.1) ควรวางฝายเป็นแนวและช่วงดินฝายควรอยู่ระดับเดียวกับสันฝายต่อไป

2.2) ความลาดชันควรอยู่ที่ 1:2 สำหรับพื้นที่ดินน้ำและ 1:3 สำหรับพื้นที่ทำนํ้ามีความสูงไม่เกิน 180 เซนติเมตร ซึ่งสามารถคำนวณระยะห่างของฝายโดยการเปรียบเทียบกันระหว่างอัตราส่วนความสูงของฝายกับความลาดชัน (horizontal : vertical) โดยใช้ตารางที่ 1 ในการเปรียบเทียบ

ตารางที่ 1 แสดงระยะห่างของฝายต่ออัตราส่วนความสูงของฝายกับความลาดชัน

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

ที่มา : Sediment Management Practices (2004)

2.3) อัตราเร็วของน้ำที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 140 ลิตรต่อวินาทีหรือ 5 ลบ.ม.ต่อวินาที (Office of Water, 1999)

2.4) ขนาดหินควรเพิ่มตามความลาดชัน และความเร็วของน้ำ ขนาดหินควรที่จะพอสำหรับกระแสน้ำโดยมีขนาดของหินตามความเร็วของน้ำ (ตารางที่ 2) ดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงขนาดหินที่เหมาะสมในการสร้างฝายตามความเร็วน้ำ

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)

โดยระยะห่างนี้คิดจากฝายที่มีความสูงที่ 3 ฟุตและมีจุดกึ่งกลางของฝายต่ำกว่าขอบร่องน้ำประมาณ 6 นิ้วซึ่งใช้หินขนาด 5 – 10 นิ้ว

2.5) บริเวณตรงกลางของฝายควรอยู่ต่ำกว่าขอบตลิ่งประมาณ 9 นิ้วหรือ 22.5 เซนติเมตรเพื่อให้น้ำไหลล้นผ่านไปโดยไม่กร่อนตัวฝาย ในกรณีที่น้ำไหลแรง ควรเพิ่มหินไปที่ด้านหลังฝายเพื่อป้องกันการกร่อน และฝายหินควรมีความสูงไม่เกิน 3 ฟุตหรือประมาณ 1 เมตร

หมายเหตุ การสร้างฝายหินจะทำให้ท้องน้ำเหนือตัวฝายตัน เนื่องจากการตกตะกอนของดิน เราจึงควรสร้างบ่อเก็บตะกอนเอาไว้บริเวณเหนือฝายเพื่อยืดระยะเวลาในการซ่อมบำรุงฝาย

3) วิธีการบำรุงรักษา

ตรวจดูว่าเกิดรูรั่วบริเวณใต้หรือรอบๆ ฝายหลังจากฝนตกหรือไม่ ควรที่จะต้องมี การนำตะกอนออกจากฝายเมื่อตะกอนมีความสูงมากกว่าครึ่งหนึ่งของฝายเพื่อรับมือกับน้ำที่ไหลมาพร้อมกับตะกอน เติมหินให้เท่ากับที่ออกแบบเมื่อมีการสูญหาย ตรวจว่าท่อระบายน้ำหรือสิ่งก่อสร้างอื่นๆ จะไม่ได้รับความเสียหายหรือขวางทางน้ำในกรณีที่มีหินตกลงไป

4) การใช้ประโยชน์จากฝาย

ฝายหินมีประโยชน์ในหลายๆ ด้าน เช่น เพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ เพื่อการชะลอการไหลของน้ำ เพื่อการดักตะกอนดินและลดการชะล้างดิน เพื่อการจับน้ำสร้างความชุ่มชื้น และเพื่อเก็บกักน้ำ ใช้ในการผันน้ำเข้าสู่พื้นที่ไร่นา หรือกักเก็บน้ำเพื่อการใช้ประโยชน์อื่นๆ

โดยมีรายงาน Office of Water (1999) พบว่าความลาดเอียงของร่องน้ำจะมีผลที่สามารถช่วยให้สามารถลดมลพิษในสิ่งแวดล้อมได้ตามอายุการใช้งาน ซึ่งเกิดจากการที่เมื่อความลาดชันเพิ่ม การกรองก็จะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมาจากที่ฝายหินเรียงจะช่วยในการกักเก็บน้ำและช่วยกรองน้ำแต่เมื่อปริมาณน้ำมากขึ้นหรือความเร็วน้ำที่สูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพลดลง ซึ่งจะทำให้น้ำท่วมขังในจุดที่มีการเก็บกักไว้ ซึ่งทำให้เกิดเป็นแอ่งน้ำที่ทำให้เกิดการเพาะพันธุ์ยุงลายและยังสามารถส่งกลิ่นรบกวนอีกด้วย

สำหรับความเหมาะสมของทางน้ำที่จะมีฝายหินเรียงอยู่นั้นในงานวิจัย Schueler (1987) รายงานไว้ว่าความลาดชันของรางรับน้ำสามารถลดลงได้ถึงศูนย์ Minnesota Pollution Control Agency (1991) แนะนำว่าทางน้ำควรจะมี ความลาดชันน้อยกว่า 2% Storm water Management Manual for the Puget Sound Basin (1992) เจาจงไว้ว่าทางน้ำที่สามารถดำเนินการได้นั้นควรอยู่ที่ 2% ถึง 4% โดยที่ความลาดชันที่ต่ำกว่า 2% นั้นสามารถใช้ได้ถ้ามีการออกแบบการระบายน้ำให้รวมตัวกันได้ สำหรับความชันที่มากกว่า 4% นั้นสามารถทำได้ถ้ามีตัวลดความเร็วของน้ำเช่น ฝายหินเรียง เป็นต้น

ฝายหินเรียงสำหรับบำบัดน้ำเสีย เป็นลักษณะการดัดพื้นที่จากฝายหินเรียงปกติ มาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยอาศัยกระบวนการบำบัดแบบธรรมชาติช่วยธรรมชาติ ใช้หินสร้างฝายเพื่อเป็นตัวกลางสำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ พร้อมทั้งเพิ่มออกซิเจนให้กับธรรมชาติจากการไหลของน้ำผ่านตัวฝายหินเรียง โดยจุลินทรีย์ในน้ำเสียสามารถดูดซึมสารอาหารเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นคาร์บอนและน้ำ ทำให้น้ำเสียถูกเปลี่ยนเป็นน้ำดีได้ อีกทั้งยังช่วยในการบำบัดโลหะหนักได้อีกด้วย เช่น ในการนำฝายหินเรียงมาใช้ร่วมในรางรับน้ำของเดออร์แฮม เอ็นซี บริเวณพื้นที่จอร์จทาวน์ สามารถช่วยบำบัดโลหะหนักได้เช่น ทองแดง ตะกั่ว สังกะสีและแคดเมียม ได้ประมาณ 50 % (Office of Water, 1999)

1.6.3 กลไกการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีฝายหินเรียง

กลไกการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีฝายหินเรียงเป็นการนำกลไกการบำบัดน้ำเสียโดยใช้หลักการบำบัดน้ำเสียโดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ประเภทต่างๆ นำมาใช้โดยนำฝายหินเรียงซึ่งเป็นตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียโดยมีลักษณะคล้ายแอ่งกักเก็บน้ำทำให้เกิดกระบวนการต่างๆ ที่ช่วยในการบำบัดน้ำเสียได้ โดยกระบวนการหลักในการบำบัดน้ำเสียมีดังนี้

1) การตกตะกอน (sedimentation)

การตกตะกอนเป็นวิธีการแยกตะกอนแขวนลอยจากน้ำเสียต่างๆ โดยอาศัยกระบวนการการจมตัวของตะกอนแขวนลอยที่มีความถ่วงจำเพาะของตะกอนสูงกว่าน้ำ วิธีการกำจัดตะกอนออกจากน้ำเสียด้วยวิธีนี้ได้ถูกใช้กันอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เพื่อให้ น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสีย มีความใสสะอาด สำหรับน้ำเสียก่อนที่จะไหลสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีชีววิทยา ถ้ามีการกำจัดตะกอน (ใช้ถังตกตะกอนแรก) เสียก่อน จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย และยังสามารถลดค่าบีโอดี 5 วันในน้ำเสียได้อีกด้วย (เกรียงศักดิ์, 2539)

โดยตะกอนที่เกิดขึ้นจะมาจากการถูกระลอกจากพื้นที่ลุ่มน้ำ แบ่งออกได้ตามขนาดเป็นสองชนิดใหญ่ๆ คือ bedload หมายถึงตะกอนที่มีขนาดใหญ่ ส่วนมากจะเป็นหิน กรวด และทราย ตะกอนเหล่านี้มักถูกพัดพาไปตามท้องลำธาร ทั้งนี้เป็นเพราะมีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ตะกอนพวกนี้มักจะขัดถูท้องลำธารไปด้วยขณะที่เคลื่อนที่ ทำให้ผิวท้องลำธารถูกขัดสีไปด้วย ท้องลำธารจะสึกกร่อนเกิดความขรุขระอันเป็นลักษณะของ Kart หรือ Kart topography ตะกอนมักจะตกตะกอนนอนก้นตามแนวเขตที่เป็น “flow separation” หรือตามท้องลำธารหรือฝางลำธารต่างๆ ไป ตะกอนที่มีขนาดใหญ่มาก เช่นพวกหินตกตะกอนอยู่ตามท้องลำธาร นอกจากกระแสน้ำเชี่ยวมากเท่านั้นที่จะทำให้ตะกอนพวก bedload ถูกพัดพาไปไกลได้ ตะกอนอีกขนาดหนึ่งคือ suspension เป็นตะกอนที่มีขนาดเล็ก ได้แก่ soil particles พวก silt และ clay อาจมีพวก very fine sand อยู่ตามผิวท้องลำธารบ้าง ตะกอนขนาดเหล่านี้มักถูกพัดพาไปตามกระแสน้ำ ไปตกตะกอนยังที่ไกลสุด หรือ ณ ที่ที่น้ำหยุดนิ่ง ยิ่งไปกว่านี้ ตะกอนที่ถูกน้ำพัดพาไปกับน้ำนั้น มีผลทำให้คุณภาพน้ำเสียไปทั้งกายภาพ คือมีตะกอน ขยะมูลฝอยในน้ำ ทางเคมีอาจทำให้สารเคมีที่ถูกพัดพามากเกินไปในน้ำ ยาปราบศัตรูพืช โลหะหนัก รวมทั้งจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรียถูกระลอกจากแหล่งชุมชนปนเปื้อนมาด้วยทำให้คุณภาพน้ำทางชีวภาพเสื่อมโทรม(เกษม,2551)

ดินตะกอนจึงมีบทบาทต่อสิ่งแวดล้อมในระบบนิเวศทางน้ำและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตบนบกด้วย ดินตะกอนนั้นมีคุณสมบัติที่ค่อนข้างยุ่งยาก และสลับซับซ้อนมาก ไม่ว่าจะเป็นทางด้านฟิสิกส์ เคมี และชีวะ และดูเหมือนยังไม่สามารถบอกได้ว่าคุณสมบัติด้านต่างๆ ตะกอนยังสามารถดูดซับเอาสารมลพิษอื่นๆ เช่น ธาตุอาหารพืช สารปราบศัตรูพืช วัตถุพิษ และแม้กระทั่งแบคทีเรียและไวรัสไว้ได้อีกด้วย ขณะใดก็ตามที่พลังน้ำไหลในลำน้ำนั้น มีน้อยกว่า ปริมาณตะกอนที่กักเซาะและรวมอยู่ในพลังไหลนั้น การตกตะกอนจะเกิดขึ้น ดังนั้นการจะควบคุม ปริมาณตะกอนได้ก็ต้องควบคุมพลังไหลของน้ำ หรือทำให้สองฝั่งลำน้ำอยู่ในลักษณะที่ไม่มีการ พังทลายของดินเกิดขึ้นนั่นเอง (นิพนธ์, 2545)

ตะกอนเป็นสารซึ่งสามารถดูดซับและปลดปล่อยวัตถุอื่นๆ ได้ ในด้านสมบัติทางเคมีนั้น ตะกอนขนาดเล็กที่ละเอียดมากจะมีความสามารถในการดูดซับหรือปลดปล่อยสารมลพิษอื่นๆ ได้ (McDowell and Grissinger, 1976) ตะกอนดินอาจดูดซับเอาสารเคมีจากส่วนผสมของน้ำและเก็บไว้หรือเอาไปจากลำน้ำได้ การตกทับถมก็ย่อมแตกต่างกันไปตามขนาดและรูปร่างด้วย ดินตะกอนละเอียดซึ่งประกอบด้วยซิลท์ และดินเหนียวนั้นจะมีคุณสมบัติทางเคมีที่มีปฏิกิริยาเร็วเป็นพิเศษในการดูดซับหรือปลดปล่อยไอออนของสารต่างๆ จากน้ำขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาของสารเคมีกับตะกอนขนาดคอลลอยด์ซึ่งโดยทั่วไปแล้วตะกอนขนาดหยาบจะเป็นตัวการทำให้ น้ำไหลในลำธารมีพลังงานในการกัดเซาะและพัดพาไปลดน้อยลง ในขณะที่ตะกอนขนาดละเอียดก็เป็นตัวลดสารแขวนลอยที่มีมลพิษอื่นๆ ในน้ำได้บ้าง ตะกอนสามารถดูดซับสารเคมีต่างๆ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำได้(นิพนธ์, 2545)

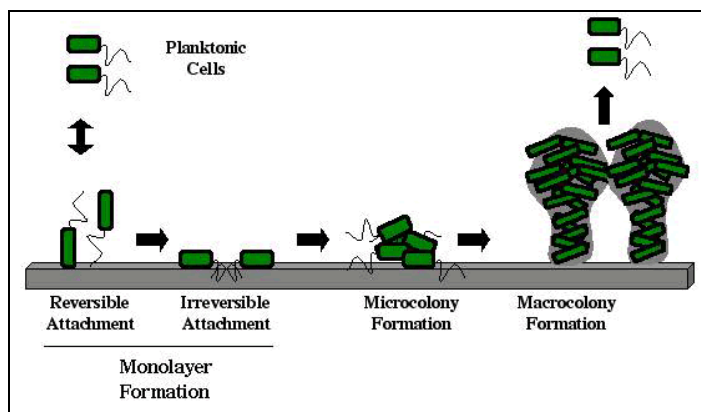
2) การใช้จุลินทรีย์แบบเกาะติดวัตถุหรือไบโอฟิล์ม (biofilm)

ไบโอฟิล์ม (biofilm) หมายถึง กลุ่มของจุลินทรีย์ที่เกาะบนตัวกลางเป็นบางๆ อยู่ในน้ำที่มีสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง ดำรงชีวิตด้วยการดูดซับและย่อยสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเพื่อเป็นอาหาร ซึ่งสามารถปรับตัวเข้ากับบริเวณที่มีธาตุอาหารต่ำได้ด้วย

2.1) การจัดเรียงตัวของไบโอฟิล์ม (biofilm formation)

เนื่องจากไบโอฟิล์ม เป็นกลุ่มของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น แบคทีเรีย รา สาหร่าย และโปรโตซัว เข้ามาอาศัยร่วมกันอยู่บนตัวกลาง และมีการพัฒนาตัวขึ้นเป็นแผ่นฟิล์มที่มี

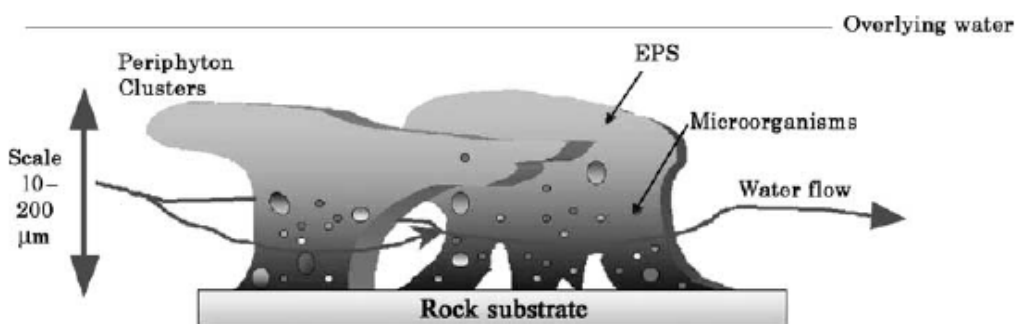
ความหนา เช่นในการฟอร์มตัวของ *Pseudomonas aeruginosa* ซึ่งสามารถอธิบายการจัดเรียงตัวของไบโอฟิล์มบนตัวกลางได้ดังนี้ (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 แสดงการจัดเรียงตัวของไบโอฟิล์ม

ที่มา : Department of Microbiology and Immunology (2008)

2.1.1) ขั้นการเกาะติดของจุลินทรีย์บนตัวกลาง (attachment) จุลินทรีย์ที่อยู่ในสภาพเซลล์เดี่ยว (Planktonic cells) ที่ลอยมากับกระแสน้ำจะเข้ามาสัมผัสและยึดเกาะกับตัวกลางเพื่อฟอร์มตัวเป็นไบโอฟิล์ม ในระยะนี้อาจใช้เวลาเพียงเล็กน้อยเพียงไม่กี่นาที ซึ่งในการเกาะติดของจุลินทรีย์บนตัวกลางนี้ (ภาพที่ 4) โดยใช้กลไกในการยึดติดที่หลากหลายดังนี้



ภาพที่ 4 การเกาะติดของจุลินทรีย์กับตัวกลาง

ที่มา : Holding *et al.* (2001)

ก) แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต (electrostatic) เป็นประจุไฟฟ้าที่เกิดจากสารเคมีต่างๆ ของจุลินทรีย์โดยมีไฮดรอกซิล(-OH) ของสารละลายมาเกี่ยวข้องเช่นสารอะมิโนพวกคาร์บอกซิล และพวกฟอสเฟต เกิดแรงดึงดูดคิ่วระหว่างจุลินทรีย์ประจุลบกับตัวกลางที่มีประจุบวกจึงยึดติดกันดีขึ้นซึ่งจากการศึกษาพบว่า จุลินทรีย์จำพวก non motility เช่น Streptococcus, Staphylococcus และ Mycobacteria ใช้โปรตีน และ โพลีแซคคาไรด์ ในการเข้าดึงดูดกับพื้นผิว (Stoodley and Stoodley,2002)

ข) แรงไม่ชอบน้ำ (hydrophobic action) เป็นการดูดซับของเซลล์จุลินทรีย์บนผิวค่อนข้างเสถียรและมีพลังงานอิสระโดยที่ผิวของสารไม่ชอบน้ำ เช่น polystyrene, polyethylene เป็นต้น สามารถดูดซับกับจุลินทรีย์กลุ่ม hydrophobic microorganism สำหรับพวก hydrophobic ของซิลิกอนไดออกไซด์สามารถดูดซับจุลินทรีย์ hydrophobic ทางกายภาพของผิวตัวกลางมีความสำคัญต่อการยึดเกาะของจุลินทรีย์ ความขรุขระของผิวตัวกลางจะมีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะตัวกลาง พบว่ายิ่งผิวตัวกลางขรุขระมากก็จะให้จุลินทรีย์ยึดเกาะได้มากกว่าผิวตัวกลางที่ขรุขระน้อย

ค) โครงสร้างพิเศษของจุลินทรีย์ Stoodley and Stoodley (2002) ได้สรุปไว้ในการศึกษา development regulation of microbial biofilms ว่าแบคทีเรีย พวก Motility bacteria เช่น *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* และ *Vibrio cholerae* นั้นมีโครงสร้างพิเศษได้แก่ flagella และ pili ซึ่งในขณะที่สาหร่าย *Oscillatoria* sp. จะใช้ filament ที่มีอยู่ในโครงสร้างของสาหร่ายเป็นตัวช่วยยึดติดกับพื้นผิว (Bilftton,1999)

2.1.2) ขั้นการสร้างตัวเป็นกลุ่ม (colonization) ในขั้นตอนนี้ อาจใช้เวลาตั้งแต่เป็นชั่วโมงจนถึงหลายวันครอบคลุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ตั้งแต่เริ่มสร้างเซลล์ชั้นเดียว จนถึงชั้นของไบโอฟิล์ม ที่มีความหนาเพิ่มขึ้น หรือจนถึงช่วง log phase ในขั้นตอนนี้ไบโอฟิล์มจะเริ่มสร้าง extracellular polysaccharide polymeric (EPS) ขึ้นเพื่อทำหน้าที่ในการเป็นสารเชื่อมระหว่างเซลล์ต่อเซลล์สารประกอบ EPS องค์ประกอบถึง 65% เป็น polysaccharide ส่วนที่เหลือเป็น nucleic acid, protein และ lipid นอกจากนี้ยังอาจพบ glucoside, glycoprotein และ glucophosphate (Lazarova and Manem,1995) ซึ่งสารประกอบ EPS นี้ นอกจากจะทำหน้าที่ในการเชื่อมเซลล์ต่อเซลล์แล้วด้วยคุณสมบัติที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีประจุลบอยู่รอบพื้นผิวจึงมีบทบาทสำคัญในการดูดซับประจุบวกของโลหะหนัก

2.1.3) **ชั้นเจริญเติบโต (growth)** เมื่อไบโอฟิล์มเริ่มหนาขึ้น จนเกินกว่าความหนาของชั้นประสิทธิภาพ อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เริ่มคงที่หรือเรียกว่าช่วง stationary phase เนื่องจากชั้นประสิทธิภาพมีค่าคงที่ ถ้าสารอินทรีย์มีปริมาณต่ำจะทำให้ไบโอฟิล์มเพิ่มขึ้นไม่ได้จำนวนจะเริ่มบางลงเมื่อปริมาณอาหารมีน้อยกว่าที่ต้องการเพื่อใช้สำหรับซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของไบโอฟิล์ม สำหรับการเกิดเป็นเส้นสายของไบโอฟิล์มนั้นเกิดจากการกระทบกันของเซลล์ที่อยู่ในระบบแบบไหลเวียน และภายใต้สภาวะที่คาร์บอน – ไนโตรเจนที่ไม่สมดุล โดยในสภาพที่คาร์บอนต่ำหรือการกระจายของธาตุอาหารเกิดขึ้นในแนวยาวทำให้เซลล์มีลักษณะที่ยาวขึ้น ในขณะที่ธาตุอาหารมีการกระจายคงที่ทำให้เซลล์มีขนาดกว้าง (Steinberger *et al.*, 2002)

2.1.4) **ชั้นหลุดลอก เพื่อสร้างฟิล์มใหม่** เมื่อไบโอฟิล์มขยายตัวเพิ่มขึ้นโดยที่อัตราการเจริญเติบโตของไบโอฟิล์ม มีอัตราเท่าๆ กันกับอัตราการลดลงของจุลินทรีย์ ณ สภาวะ endogenous respiration ซึ่งในช่วงที่อาหารถูกใช้หมดจนไม่เพียงพอแก่จุลินทรีย์และเกิดปัญหาทางจรรยาอาหารในระบบชีวเคมีและเกิดชะล้างโดยแรงเฉือน

3) การใช้จุลินทรีย์กำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียชุมชน

จุลินทรีย์มีความสามารถในการรวมกับไอออนของโลหะหนักได้ที่บริเวณผิวหรือถูกขนส่งเข้าไปในเซลล์ได้โดยง่าย ในพวกโปรคาริโอต ซึ่งมีความสามารถที่จะออกซิไดซ์ Mn(II), Fe(II), CO (II), Cu(II), AsO₃⁻, Se⁰, หรือ SeO₂²⁻ ได้หรือจะทำการลด Mn (IV), Fe(III), CO(III), AsO₄²⁻, SeO₄²⁻ หรือ SeO₃²⁻ ได้ในปริมาณมาก อีกทั้งจุลินทรีย์ยังสามารถขับสารอนินทรีย์บางชนิดออกมาเป็นผลพลอยได้อีกด้วย ซึ่งสารอนินทรีย์ที่ขับออกมานั้นเป็นพวก ซัลไฟด์, คาร์บอนเนต หรือ ฟอสเฟตไอออน โดยเกิดขึ้นจากกระบวนการหายใจและจะทำให้เกิดการตกตะกอนของโลหะหนักได้ จากสิ่งทีจุลินทรีย์ขับออกมา ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักลดลงภายใต้การยับยั้งโดยกระบวนการควบคุมทางชีวภาพที่ทำให้เกิดการตกตะกอนในดินและน้ำ (Ehrlich, 1996)

สำหรับการกำจัดโลหะหนักอีกวิธีที่จุลินทรีย์สามารถสร้างสารเมื่อหลังออกมาภายนอกเซลล์โดยทำหน้าที่ตรึงและจับกับโลหะแบบไม่เจาะจง เพื่อป้องกันโลหะหนักเข้าไปในเซลล์ ได้แก่ กรดอินทรีย์, แอลกอฮอล์, โพลีแซคคาไรด์, กรดฮิวมิก และ กรดฟัลวิค สารประกอบต่างๆ เหล่านี้สามารถจับกับโลหะหนักได้หลายชนิด ด้วยเหตุนี้จึงมีการประยุกต์นำเอาจุลินทรีย์ไปใช้ในการ

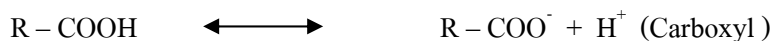
เคลื่อนย้ายโลหะหนักออกจากพื้นที่ปนเปื้อน ซึ่งเป็นแนวทางในการใช้จุลินทรีย์ไปฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อนโลหะหนัก (Microbial Based Remediation) เช่น *Pseudomonas marginalis* สามารถสร้าง EPS ในปริมาณมากเพื่อใช้ในการต้านทานต่อความเป็นพิษของโลหะหนัก เช่นตะกั่ว และแคดเมียม (เบญจภรณ์ 2549) โดยอาศัยกลไกในการดูดซับโลหะหนัก ดังต่อไปนี้

3.1) แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต

แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต ที่เกิดขึ้นระหว่างไอออนของโลหะหนักกับผนังเซลล์ ซึ่งการดูดซับไอออนของโลหะหนักบริเวณผนังเซลล์แบคทีเรียเหมือนกระบวนการของสิ่งมีชีวิตโดยควบคุมด้วยคุณสมบัติของความเป็นกรดเป็นด่างของผนังเซลล์และมีความเกี่ยวข้องกันในแต่ละรูปแบบของการทำงานที่เจาะจงสำหรับโลหะหนัก (Mullen *et al.*, 1989) และสารเมือกของจุลินทรีย์ หรือที่เรียกว่า extracellular polysaccharide polymeric (EPS) ทั้งนี้เนื่องจากผนังเซลล์ และ EPS ของจุลินทรีย์นั้นประกอบไปด้วย Polysaccharide protein และ lipid (เบญจภรณ์, 2549)

ซึ่งมีหมู่คาร์บอกซิล, ซัลเฟต, ฟอสเฟต และกลุ่มของอะมิโน เป็นองค์ประกอบ โดยที่องค์ประกอบเหล่านี้มีประจุไฟฟ้าเป็นลบซึ่งจะเกิดแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตกับโลหะหนักที่มีประจุเป็นบวก จึงมีประสิทธิภาพในการจับโลหะที่มีประจุบวก โดยเฉพาะโลหะที่มีประจุบวกขนาดใหญ่ เช่น แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี และเหล็ก ซึ่งจะเกิดจากการจับกันในบริเวณ phosphoryl group ของ lipopolysaccharide ที่เยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกของแบคทีเรียแกรมลบ และ carboxyl group ของ peptidoglycan ที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกได้ เช่นใน *Bacillus Subtilis* ที่ผนังเซลล์จะมีประจุลบเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีพีเอชที่สูงขึ้น (Harden and Harris, 1953) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Sheng *et al.* (2004) ที่พบว่าสาหร่ายทะเล *Sargassum sp.*, *Padina sp.*, *Ulva sp.* และ *Cracillaria sp.* สามารถดูดซับตะกั่วได้ โดยใช้หมู่คาร์บอกซิล, อีเทอร์, แอลกอฮอล์ และกลุ่มอะมิโน จับตัวกับไอออนบวกของโลหะหนัก ด้วยกลไกของแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต

โดยการจับกับไอออนของโลหะของจุลินทรีย์นั้นจะมีกระบวนการเริ่มจากการที่เซลล์ทำการกำจัด โปรตรอนที่ผนังเซลล์ออกเมื่อพีเอชสูงขึ้นซึ่งจะเกิดได้ตามสมการ (Beveridge and Murray, 1980) ดังนี้



และสามารถเกิดปฏิกิริยาระหว่างโลหะหนัก (M) กับผนังเซลล์ที่มีการกำจัดโปรตรอนออกไปแล้วทำให้ผนังเซลล์จับกับโลหะหนักได้ดังสมการ(Stumm and Morgan, 1996)



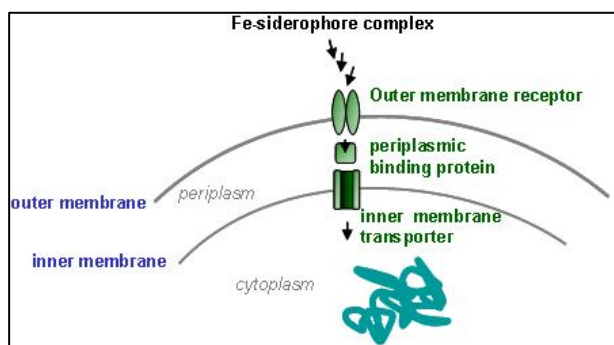
ทำให้โลหะหนักที่อยู่ในน้ำสามารถโดนกำจัดได้ด้วยจุลินทรีย์ได้ตามกระบวนการที่กล่าวมาข้างต้น

3.2) การแลกเปลี่ยนไอออน

การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนไอออนชนิดเดียวกับระหว่างไอออนจากสารของแข็งกับไอออนของสารละลาย เช่น เซลล์จุลินทรีย์จะมีเกลือจำพวก K^+ , Na^+ , Ca^{2+} และ Mg^{2+} อยู่ทำให้ไอออนพวกนี้เกิดการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีประจุบวกของโลหะหนักเช่น CO^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} และ Zn^{2+} เป็นต้น ซึ่ง Lo *et al.* (1999) ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนย้ายสารละลายตะกั่วโดยใช้ *Mucor rouxii* ซึ่งเป็น Filament fungal พบว่าสามารถดูดซับตะกั่วสูงสุด ที่ พีเอช 6 ด้วยกลไกการแลกเปลี่ยนประจุบวก กับ K^+ และ Ca^{2+} ที่อยู่บนผนังเซลล์ของเชื้อรา

3.3) การสร้างสารจับกับโลหะหนัก (chelation)

การเกิดปฏิกิริยาสมดุระหว่างไอออนของโลหะหนักกับสารพวกคีเลทในที่นี้คือสารอินทรีย์ที่อยู่บริเวณผนังเซลล์ของจุลินทรีย์จับกันด้วยพันธะโคออดิเนต ได้คีเลตซึ่งมีโครงสร้างเป็นวงแหวน สารคีเลตต้องมีหมู่แสดงปฏิกิริยาเฉพาะตัว (functional group) ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป จึงมีพันธะเคมีระหว่างไอออนของโลหะกับสารคีเลตเกิดขึ้นหลายจุด ทั้งนี้สารคีเลตที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นคือ siderophore ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กที่มีมวลโมเลกุลต่ำทำหน้าที่เป็น chelating agent ทำปฏิกิริยากับโลหะที่มีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายกับเหล็ก ทำให้ปริมาณโลหะที่อยู่ในรูป unavailable form เปลี่ยนเป็น bioavailable form เข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งไม่แสดงความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในภาพที่ 5



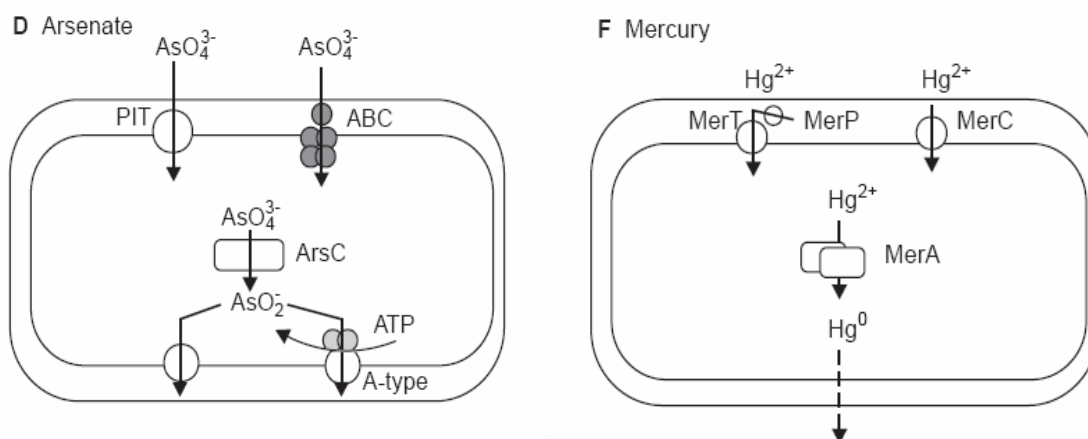
ภาพที่ 5 การเคลื่อนย้ายสารประกอบคีเลตเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์

ที่มา : Müller, *et al.*(2006)

3.4) การใช้ปั๊มดูดโลหะหนัก

เป็นการเคลื่อนย้ายโลหะ โดยอาศัยระบบปั๊มในการจับโลหะเข้าและออกจากเซลล์เพื่อลดความเข้มข้นของโลหะหนักในเซลล์จนถึงในระดับที่ไม่เกิดพิษต่อเซลล์ เช่น *Pseudomonas aeruginosa* มีกลไกที่จะทำให้ Hg^{2+} กลายเป็น Hg^0 ที่ไม่เป็นพิษแล้วขับออกภายนอกเซลล์ได้ (Outten *et al.*, 2000) โดยเอนไซม์ที่ลดสาร mercuric จะทำการคะตะไลต์ปรอท Hg^{2+} ให้กลายเป็น Hg^0 ที่สามารถระเหยได้โดยมีเอนไซม์ mercuric reductase ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาขึ้น (Robinson and Tuovinen, 1984) และ *Pseudomonas putida* สามารถสะสมปรอทไว้ในเซลล์ได้ด้วย (Canstein *et*

al., 1999) ดังแสดงในภาพที่ 6 และในสิ่งแวดล้อมมีแบคทีเรียชนิดที่สัมผัสกับอาร์ซีเนต (AsO_4^{3-}) แล้วสามารถเปลี่ยนรูปของอาร์ซีเนตได้ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ชนิดที่สามารถออกซิไดซ์ได้ภายใต้สภาวะที่มีอากาศ ทำให้อาร์ซีเนตที่สะสมไว้นี้จะถูกขนส่งด้วยฟอสเฟตเข้าไปในเซลล์ซึ่งมีเอนไซม์ที่สามารถลดความเป็นพิษของอาร์ซีเนตได้โดยเปลี่ยน As(V) ไปเป็น As(III) ได้ (Gladysheva *et al.*, 1994)



ภาพที่ 6 แสดงการเคลื่อนย้ายโลหะหนักออกจากเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยการปั๊ม
ที่มา : Outten *et al.*, 2000

ลักษณะพื้นที่ศึกษา

1. ที่ตั้งและอาณาเขต

เทศบาลตำบลห้วยยอด ตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ $7^{\circ}60' N$ และลองจิจูด $99^{\circ}38' E$ มีพื้นที่ 6.11 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 3,818.75 ไร่ เป็นหน่วยงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นรูปแบบหนึ่ง ครอบคลุมตำบลห้วยยอด และตำบลเขาปูนบางส่วน อยู่ในเขตการปกครองของอำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง ตั้งอยู่ทางทิศเหนือของจังหวัดตรังห่างจากตัวจังหวัดประมาณ 28 กิโลเมตร มีอาณาเขตติดต่อกับตำบลต่าง ๆ 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 และต่อไปยังสถานีตรังจนไปถึงสิ้นสุดที่สถานีกันตัง ขบวนรถไฟที่วิ่งผ่านสถานีห้วยยอดมี 2 ขบวน คือ ขบวนรถเร็วจากกันตัง – กรุงเทพฯ และขบวนรถด่วนจาก ตรัง – กรุงเทพฯ ๑ 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 และถนนกัลปศาสตร์ ซึ่งทำหน้าที่กระจายปริมาณการจราจรสู่พื้นที่ส่วนต่างๆ ของชุมชนโดยรอบ ส่วนใหญ่มีผิวจราจรได้มาตรฐานเป็นคอนกรีตและแอสฟัลท์

3. สภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศ

สภาพพื้นที่ภายในเขตเทศบาลส่วนใหญ่เป็นเนินเขาสูง ๆ ต่ำ ๆ มีที่ราบน้อยมีลำคลองเล็กๆ ไหลผ่านตัวเมือง คลองที่สำคัญ ได้แก่ คลองห้วยยอด และคลองห้วยแห้ง เป็นต้น สำหรับฤดูกาลของเทศบาลตำบลห้วยยอดสามารถแบ่งตามลักษณะอากาศของประเทศไทยเป็น 3 ฤดู คือ

3.1 ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม ระยะเวลานี้เป็นช่วงว่างของฤดูมรสุม หลังจากสิ้นฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือหรือฤดูหนาวแล้ว อากาศจะเริ่มร้อน และจะร้อนจัดที่สุดในเดือนมีนาคม และเมษายน

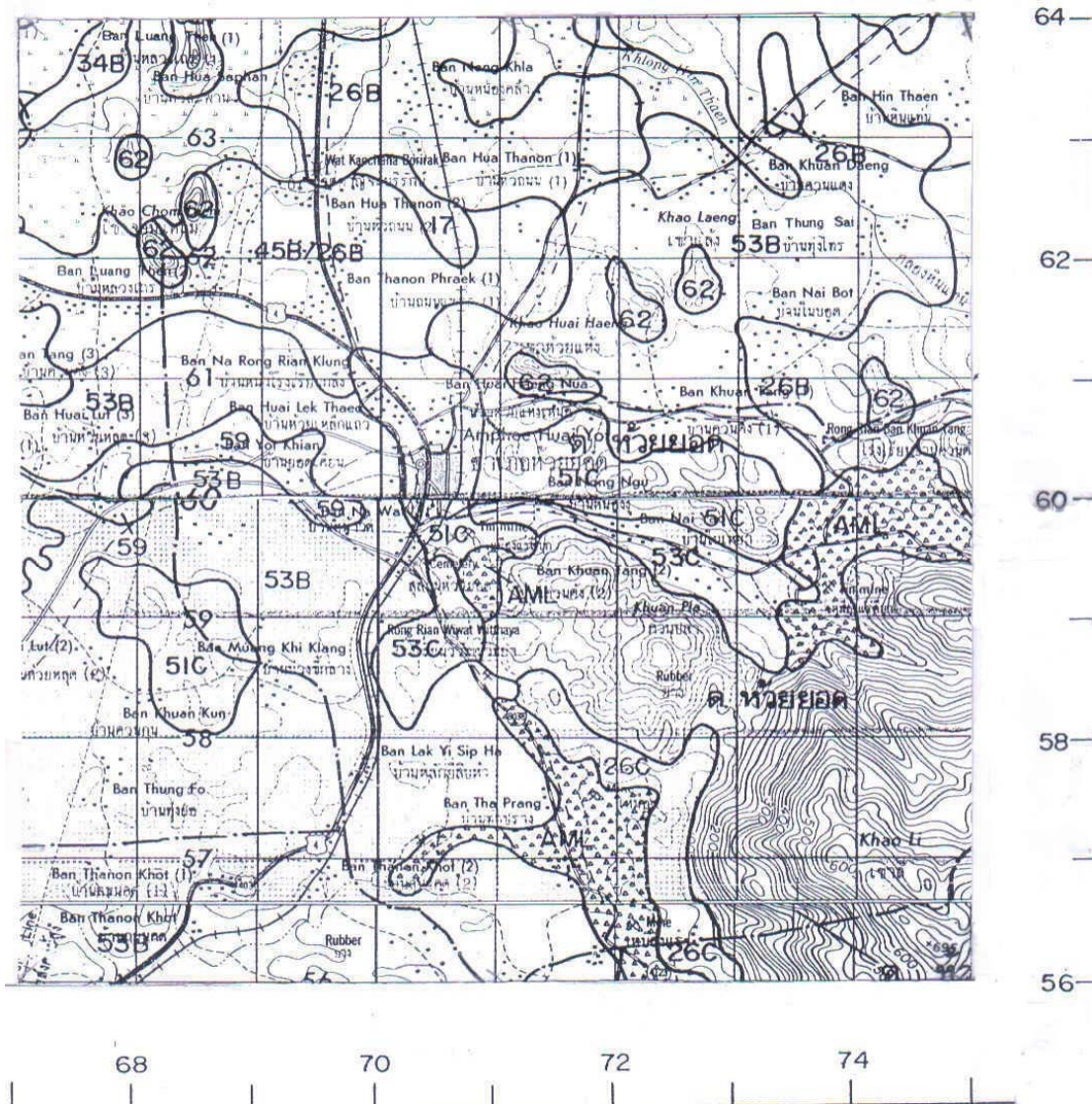
3.2 ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม เป็นช่วงที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นลมร้อนและชื้นจากมหาสมุทรอินเดียพัดปกคลุมประเทศไทย ทำให้มีฝนทั่วไปและในช่วงฤดูฝน ยังมีร่องความกดอากาศต่ำปกคลุมภาคใต้เป็นระยะ ๆ จึงทำให้มีฝนตกมาก ซึ่งฝนจะตกหนักช่วงเดือนกันยายน

3.3 ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม จนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นฤดูมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้อุณหภูมิลดลงทั่วไป และมีอากาศหนาวเย็น แต่ไม่ค่อยจะหนาวเย็นมากนัก และมักจะมีฝนตกทั่วไป

ข้อมูลอื่นๆ อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์อบอุ่นระหว่าง 19 – 38 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 151.08 มม. และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 80.77

4. ลักษณะพื้นที่และกลุ่มดิน

พื้นที่ของเทศบาลตำบลห้วยยอดตั้งอยู่ใกล้กับพื้นที่ราบเชิงเขา มีความลาดชันอยู่ในช่วงร้อยละ 5 – 12 มีลักษณะของดินส่วนใหญ่ที่พบเป็นกลุ่มดินชุดที่ 51 หน่วยที่ดินนี้เป็นกลุ่มชุดดิน ที่มีเนื้อดินเป็นพวกดินร่วนปนเศษหิน พบในเขตฝนตกชุก เช่น ภาคใต้ เศษหินส่วนใหญ่เป็นพวกเศษหินทรายและควอร์ต หรือหินดินดาน สีดินเป็นสีน้ำตาล สีเหลืองหรือสีแดง พบทั่ว ๆ ไปในบริเวณที่ลาดเชิงเขาหรือเนินเขาต่าง ๆ เป็นดินตื้นมาก มีการระบายน้ำดี มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดแก่ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 5.0-5.5 ปัจจุบันบริเวณดังกล่าวเป็นป่าดิบชื้น และกลุ่มชุดดินที่ 53 หน่วยที่ดินเป็นกลุ่มชุดดินที่มีเนื้อดินบน เป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนดินเหนียว ส่วนดินล่างในระดับความลึกระหว่าง 50-100 ซม. เป็นดินลูกรังหรือดินปนเศษหินผุ ซึ่งเป็นพวกหินดินดานพบในเขตฝนตกชุกเช่น ภาคใต้ ลักษณะพื้นที่เป็นลูกคลื่นหรือเนินเขา ดินมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติค่อนข้างต่ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดแก่ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ประมาณ 5.0-5.5 โดยชุดดินทั้ง 2 ชุดเหมาะแก่การปลูกยางพารา ซึ่งในบริเวณนี้จะมีการปลูกยางพาราเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงกลุ่มชุดดินที่พบบริเวณพื้นที่ตำบลห้วยยอด

ที่มา : กองสำรวจและจำแนกดิน (2536)

5. การใช้ประโยชน์ที่ดิน

สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตเทศบาลส่วนใหญ่เป็นที่ดินว่างเปล่า รองลงมาคือที่อยู่อาศัยทั้งที่พักอาศัยอย่างเดี่ยวและกึ่งพาณิชย์ ซึ่งส่วนมากจะตั้งอยู่ตามแนวสองฝั่งถนนเพชรเกษม และสำหรับอุตสาหกรรมซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก สำหรับการใช้นิคมที่ดินประเภทต่างๆ รวมทั้งขนาดพื้นที่ในการดำเนินการแสดงได้ตามตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 แสดงประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตเทศบาลตำบลห้วยยอด

ประเภทที่ดิน	ขนาดพื้นที่ (ไร่)
1. พื้นที่ว่าง	3,618.12
2. พักอาศัย	128.54
3. พักอาศัยกึ่งพาณิชย์	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. ลักษณะทางด้านสังคม

ประชากรในเขตเทศบาลตำบลห้วยยอด ตามสถิติทะเบียนราษฎร เดือนกันยายน 2549 มีทั้งสิ้น 9,856 คน แบ่งเป็นประชากรชาย 4,764 คน ประชากรหญิง 5,092 คน จำนวนหลังคาเรือนทั้งหมดในเขตพื้นที่รับผิดชอบ 3,498 หลัง ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ย 1,598 คน ต่อตาราง

กิโลเมตร โดยชุมชนในเขตเทศบาลมีทั้งสิ้น 8 ชุมชน คือ ชุมชนหน้าวัดห้วยยอด, ชุมชนหลังวัดห้วยยอด, ชุมชนถนนแพรก, ชุมชนวัดนา, ชุมชนดาฮี, ชุมชนควนหนังฆ่า, ชุมชนควนอุ และชุมชนตลาดห้วยยอด โดยกิจกรรมของชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอดนั้นมีหลายรูปแบบด้วยกันเช่น การตั้งบ้านเรือน ตลาดสด ร้านค้า ร้านเสริมสวย ร้านซ่อมรถ สถานพยาบาลต่างๆ โรงงานผลิตขนมจีน การคมนาคมขนส่ง โรงพิมพ์และร้านถ่ายเอกสาร เป็นต้น ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้มีผลทำให้เกิดน้ำเสียและการปนเปื้อนของโลหะหนักด้วยได้ด้วย

การบริการด้านสาธารณสุขในเขตเทศบาลเป็นปัจจัยหนึ่งทางด้านสังคมที่มีความจำเป็นในแต่ละชุมชน ซึ่งเทศบาลตำบลห้วยยอดมีหน่วยงานที่ให้บริการด้านสาธารณสุข ดังนี้

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

2) ศูนย์สุขภาพชุมชนตำบลห้วยยอด โดยโรงพยาบาลห้วยยอดร่วมกับเทศบาลตำบลห้วยยอด จัดขึ้นเป็นสถานที่ให้บริการ โดยจะให้บริการรักษาพยาบาลเบื้องต้น การรักษาโรคและฉีดวัคซีนป้องกันโรค ที่สามารถใช้จ่ายประจำบ้านได้ มีพยาบาลวิชาชีพ 4 คน พยาบาลเทคนิค 1 คน เจ้าพนักงานสาธารณสุขชุมชน 2 คน เจ้าพนักงานทันตภิบาล 1 คน อสม. 53 คน มีผู้ใช้บริการเฉลี่ยเดือนละ 1,500 รายและมีคลินิกเอกชนอีก 5 แห่งที่ดำเนินการในเทศบาลตำบลห้วยยอด

7. ลักษณะทางการเมืองการบริหาร

เทศบาลตำบลห้วยยอดได้แบ่งการบริหารขององค์กรเป็น 2 ประเภทด้วยกันประกอบด้วย

7.1 สภาเทศบาล มีหน้าที่ควบคุมการบริหารงานของนายกเทศมนตรี ประกอบด้วยสมาชิกสภา เทศบาล จำนวน 12 คน

7.2 ผู้บริหารท้องถิ่น มีหน้าที่ควบคุมและรับผิดชอบในการบริหารกิจการของเทศบาลตามกฎหมาย ประกอบด้วย นายกเทศมนตรีซึ่งผู้ว่าราชการจังหวัดแต่งตั้ง และรองนายกเทศมนตรีอีก 2 คน ซึ่งนายกเทศมนตรีเป็นผู้แต่งตั้ง โดยในส่วนการบริหารของเทศบาลตำบลห้วยยอดประกอบด้วย หน่วยงาน 7 หน่วยงาน คือ สำนักปลัดเทศบาล, กองวิชาการและแผน, กองคลัง, กองช่าง, กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม และกองสวัสดิการสังคม

8. ลักษณะทางด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

8.1 แหล่งน้ำ

ในเขตเทศบาลมีลำคลองและลำธารสาธารณะเล็ก ๆ ไหลผ่านตัวเมืองซึ่งส่วนหนึ่งเป็นแหล่งน้ำที่รองรับน้ำเสียจากชุมชนด้วย ซึ่งจะมีลำห้วยต่างๆ ดังนี้

8.1.1 คลองห้วยยอด มีความยาว 3,100 เมตร เป็นลำธารที่มีต้นกำเนิดมาจากน้ำตกโตนคลาน ซึ่งตกมาจากเขา หรือควนในเหยา สายน้ำนี้ไหลผ่านตัวเมืองห้วยยอด และไหลไปลงแม่น้ำตรังที่ตำบล ปากคม ปัจจุบันมีสภาพตื้นเขิน ขาดน้ำในช่วงฤดูแล้ง

8.1.2 คลองห้วยแห้ง มีความยาว 3,400 เมตร เป็นลำธารที่มีต้นกำเนิดมาจากเขาห้วยแห้ง ไหลผ่านตัวเมืองด้านทิศเหนือ สภาพคลองปัจจุบันตื้นเขิน และขาดน้ำในช่วงฤดูแล้งเช่นกัน

8.1.3 ห้วยหลักแก้วหรือปลัดแก้ว ความยาว 1,312 เมตร เป็นลำธารเล็กๆ ที่ไหลมาจากภูเขาบริเวณหมู่บ้านป่าจี่ทรายไหลอยู่ทางทิศใต้และทิศตะวันตก ของที่ว่าการอำเภอห้วยยอด ปัจจุบันมีสภาพตื้นเขินและยังเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียหลักของเทศบาลตำบลห้วยยอด

8.1.4 ห้วยไสถั่ว มีความยาว 1,553 เมตร เป็นลำธารเล็กๆ ที่ไหลอยู่รอบข้างของเทศบาลตำบลห้วยยอดซึ่งก็จะได้รับการปนเปื้อนของน้ำเสียด้วยเล็กน้อย

8.2 การระบายน้ำ

ระบบระบายน้ำของเมืองเป็นท่อระบายน้ำ คสล. และท่อเหลี่ยม คสล. โดยท่อระบายน้ำ คสล. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 - 1.00 เมตร มีจำนวน 5 สาย มีความยาวรวม 2,340 เมตร ส่วนท่อเหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความกว้างท่อ 0.50 - 0.70 เมตร มีความยาวรวม 12,843 เมตร เป็นระบบรวมของน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนและน้ำฝนลงสู่ราง หรือคูระบายน้ำสาธารณะ และถูกปล่อยทิ้งลงสู่ทางน้ำสาธารณะ ซึ่งได้แก่ คลองห้วยยอด คลองห้วยแห้ง และห้วยปลัดแก้ว ซึ่งระบบน้ำทิ้งเหล่านี้ มิได้ผ่านการบำบัดน้ำเสียก่อน จากการปล่อยน้ำเสียของชุมชน โดยไม่มีการบำบัด ทำ

ให้คูคลองคังกล่าวเริ่มเน่าเสีย มีกลิ่น และมีสีดำซึ่งเป็นปัญหาที่เทศบาลจะต้องหามาตรการเพื่อดำเนินการแก้ไขต่อไป

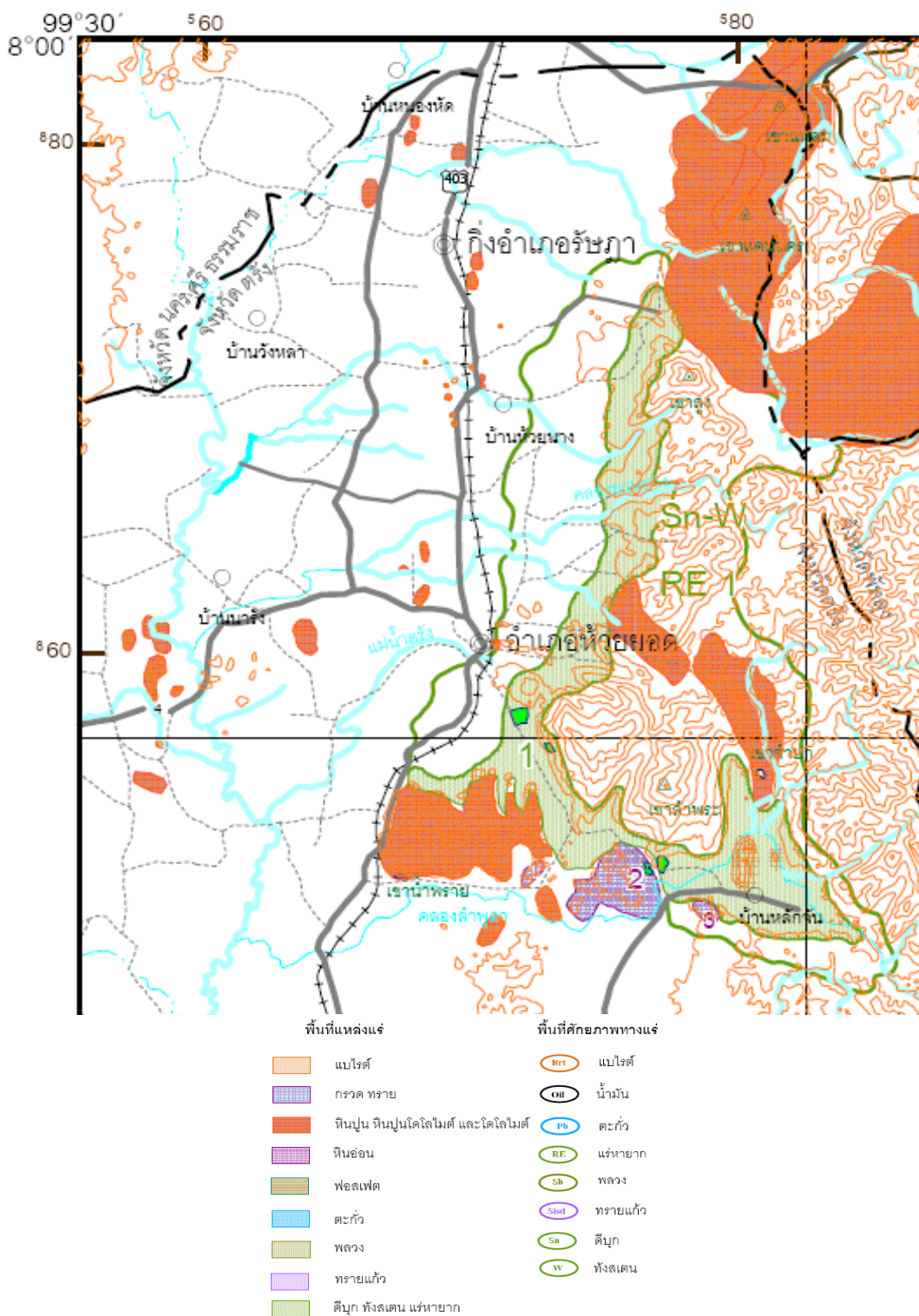
ผลการสำรวจกิจกรรมที่ก่อให้เกิดน้ำเสียตลอดลำห้วยปลัดแก้ว ซึ่งได้ข้อมูลจากสำนักทะเบียนท้องถิ่นเทศบาลตำบลห้วยยอดพบว่าจำนวนครัวเรือนและร้านค้าที่ปล่อยน้ำเสียลงสู่ห้วยปลัดแก้วมีจำนวน 566 หลังคาเรือน และสถานที่ราชการจำนวน 6 แห่ง ร้านเสริมสวยและร้านตัดผม 6 แห่ง โรงพิมพ์และร้านถ่ายเอกสาร 5 แห่ง ร้านซ่อมรถมอเตอร์ไซด์ 3 แห่ง ร้านเชื่อมเหล็ก 1 แห่ง ร้านคาร์แคร์ 1 แห่ง ตลาดสด 1 แห่ง สถานพยาบาลและคลินิก 3 แห่ง โรงงานผลิตขนมจินขนาด 50 กระดาษ/วัน 1 แห่ง เป็นต้น (เทศบาลตำบลห้วยยอด, 2551)

8.3 แหล่งทรัพยากรแร่

เทศบาลตำบลห้วยยอดเป็นแหล่งแร่ดีบุกสำคัญของจังหวัดตรัง ซึ่งในอดีตได้มีการทำเหมืองแร่ดีบุกในพื้นที่บริเวณเทือกเขาบรรทัดที่อยู่ในตำบลห้วยยอด โดยเมื่อครั้งสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว เสด็จประพาสเมืองตรัง ปรากฏว่ามีกรรมกรจีนจำนวนมากจากเกาะปีนัง เข้ามาทำเหมืองแร่ดีบุก ที่บ้านท่ามะพร้าว ทำให้ชุมชนบริเวณนั้นเจริญมากขึ้น และเกิดตลาดแห่งแรกที่บ้านท่ามะพร้าว ต่อมาเมื่อเรือขุดแร่ของฝรั่งมาทำการขุดแร่แถวหน้าวัดห้วยยอด จึงทำให้ชุมชนบริเวณอำเภอห้วยยอดเจริญขึ้นตั้งแต่นั้นมานี้เนื่องพื้นฐานเศรษฐกิจของอำเภอห้วยยอดมาจากการทำเหมืองแร่ดีบุก

สำหรับหินที่เป็นต้นกำเนิดแร่ดีบุกคือหินแกรนิต จึงมักพบแหล่งแร่ตามแนวเทือกหินชนิดนี้ ซึ่งบริเวณเทศบาลตำบลห้วยยอดจะพบหินแกรนิตมากกว่าหินปูน โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่มีการแทรกคั่นขึ้นมาสัมผัสกับหินข้างเคียง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของหิน และมีน้ำแร่หรือสายแร่ เข้ามาประจูดอยู่ตามรอยแตกในหินแหล่งแร่ดีบุกในประเทศไทยมี 2 แบบ คือ แบบปฐมภูมิ (primary deposit) ซึ่งจะพบแร่อยู่ในหินต้นกำเนิดเดิม ที่ยังไม่ผุพัง และแบบทุติยภูมิ (secondary deposit) ซึ่งเป็นแบบที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมาก เกิดจากแร่ดีบุกผุพังหลุดออกจาก ต้นกำเนิดเดิมแล้วพัดพาไปสะสมตัวอยู่ ณ ที่แห่งใหม่ซึ่งในปัจจุบันเหมืองแร่ดีบุกต่างๆ ในตำบลห้วยยอดได้หยุดดำเนินการไปทั้งหมดแล้ว เหลือไว้เพียงแต่ชุมชนเหมืองขนาดใหญ่ สำหรับพื้นที่แหล่งแร่ของเทศบาลตำบลห้วยยอดแสดงไว้ในภาพที่ 8 ซึ่งเป็นแผนที่ทรัพยากรแร่ของกองเศรษฐกิจ กรมทรัพยากรธรณี ที่จะแสดงให้เห็นได้ว่าในพื้นที่ตำบลห้วยยอดยังมีแหล่งแร่ดีบุกเหลืออยู่ ซึ่งอาจจะเกิดการปนเปื้อนของสารหนูได้

เนื่องจากสารหนูจะเป็นธาตุที่อยู่ร่วมกับดินบุก โดยอยู่ในรูปของอาร์ซีโนไฟไรต์ ซึ่งเมื่อมีการสัมผัสกับอากาศก็จะทำให้กลายเป็นสารหนูกระจายไปกับแหล่งน้ำได้ด้วย



ภาพที่ 8 แผนที่ทรัพยากรแร่ แสดงพื้นที่แหล่งแร่และศักยภาพของแร่ ราวาง NB 47 – 3

จังหวัดสงขลา บริเวณ อำเภอห้วยยอด

ที่มา : กองเศรษฐกิจธรณีวิทยา (2544๗)

แนวทางการศึกษา

การบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันนี้มีหลายรูปแบบและหลายวิธี ซึ่งส่วนใหญ่วิธีการเหล่านี้จะมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่ค่อนข้างสูง ซึ่งจำเป็นที่จะต้องหารูปแบบการบำบัดน้ำเสียที่สามารถนำไปใช้กับชุมชนขนาดเล็กได้ วิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านการบำบัดน้ำเสียของชุมชนได้ คือ การวิธีการตามแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวที่ให้แนวทางในการบำบัดมลพิษที่ประหยัด ธรรมชาติช่วยธรรมชาติ มีประสิทธิภาพสูง และเป็นการใช้เทคโนโลยีอย่างง่าย สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งทางโครงการพระราชดำริแหลมผักเบี้ยได้ดำเนินการอยู่เป็นเทคโนโลยีที่แพร่กระจายไปทั่วทุกภูมิภาคซึ่งเป็นการบำบัดโดยใช้พืชบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นทางผู้วิจัยได้นำแนวความคิดจากโครงการฯ มาใช้ในการดำเนินการโดยริเริ่มที่จะนำวิธีการใหม่มาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยนำการใช้ฝายหินเรียงในการดักตะกอนและลดความเร็วน้ำของพื้นที่ต้นน้ำเพื่อรักษาความชุ่มชื้นมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยให้เกิดวิธีการตามกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ดังนี้

1 กระบวนการทางกายภาพ โดยการทำให้เกิดการตกตะกอนจากการที่ตะกอนแขวนลอยที่อยู่ในน้ำที่มีขนาดเล็ก เช่น อนุภาคดินขนาดเล็กที่มีองค์ประกอบของ silt และ clay เป็นส่วนใหญ่ สามารถตกตะกอนได้ในที่ที่น้ำหยุดนิ่ง (เกษม,2551) ซึ่งถ้ามีการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าเกิดขึ้นในขณะหยุดนิ่ง จะทำให้เกิดความเป็นกลางก่อให้เกิดการตกตะกอนได้ โดยในการสร้างฝายขวางลำน้ำเป็นตัวช่วยในการลดความเร็วของน้ำและทำให้เกิดการตกตะกอนได้ ซึ่งเมื่อเกิดการตกตะกอนอนุภาคดินซึ่งมีประจุลบมากจะสามารถดูดซับโลหะหนักที่ล่องลอยอยู่ในน้ำได้

2 กระบวนการทางเคมี โดยการตกตะกอนจากการที่หินปูนที่ใช้ในการสร้างฝาย ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีคือ $(CaMgCO_3)_2$ เมื่อเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวจะได้แคลเซียม (Ca^{2+}) , แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ซึ่งมีความสามารถในการจับกับโลหะหนักได้ ส่งผลให้เกิดการตกตะกอนลงสู่พื้นท้องน้ำต่อไป อีกทั้งยังสามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในน้ำให้กลายเป็นโลหะซัลไฟด์ที่ละลายน้ำได้น้อยอีกด้วย

3 กระบวนการทางชีวภาพ โดยการให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียสามารถเกาะยึดกับตัวกลาง คือ ก้อนหินที่ใช้ในการสร้างฝายหินเรียง ซึ่งเมื่อมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เป็นไบโอฟิล์มขึ้นในบริเวณนี้ ทำให้เกิดการดูดซับของโลหะหนักได้ จากการที่จุลินทรีย์สามารถสร้างสารเมือกกลุ่ม EPS

ขึ้นมาเพื่อต้านทานและดูดซับโลหะหนักได้ (เบญจกรณ์, 2549) อีกทั้งจุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนรูปของโลหะหนักจากรูปแบบที่เป็นพิษให้กลายเป็นไม่เป็นพิษได้อีกด้วย

โดยในการวิจัยนี้ได้นำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งจากการสร้างฝายหินเรียงความลาดชันเหมาะสมตามรูปแบบของ Natural Resources Conservation Service (1999) ที่ความลาดชัน 1 : 2 และจากการวิจัยของ Office of Water (1999) ในการบำบัดโลหะหนักในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักได้รายงานไว้ว่าฝายหินเรียงที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียของลานจอดรถสามารถบำบัดโลหะหนักได้ถึง 50% ซึ่งจากแนวคิดข้างต้นทำให้ผู้วิจัยได้นำแนวทางที่ได้มาทำการวิจัยต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์

1.1 อุปกรณ์สำหรับสร้างฝายและเก็บตัวอย่างน้ำ

1.1.1 หินปูนขนาด 12 – 20 เซนติเมตร ปริมาณ 1 ลบ.ม.ต่อฝาย

1.1.2 อุปกรณ์สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำ

- (1) ขวดเก็บตัวอย่างพลาสติกโพลีเอทิลีน ขนาดความจุ 1,000 มิลลิเมตร
- (2) ถังพลาสติกชนิดทนความเย็น ขนาด 10 x 15 นิ้ว
- (3) ถังน้ำแข็งสำหรับเก็บขวดน้ำตัวอย่าง
- (4) กรดไนตริกเข้มข้น สำหรับเก็บรักษาน้ำตัวอย่าง
- (5) เครื่องมือตรวจวัดน้ำภาคสนามแบบพกพา ใช้วัดอุณหภูมิ, ความเป็นกรดเป็นด่าง, ค่าความเค็ม, การนำไฟฟ้าและออกซิเจนละลายน้ำ ยี่ห้อ WTW รุ่น Multi 340i และยี่ห้อ HACT
- (6) เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก Atomic Absorption Spectrophotometer ยี่ห้อ Varian รุ่น AA 240
- (7) เครื่องมือวิเคราะห์ปรอท Hydride generator

1.1.3 อุปกรณ์และสารเคมีในห้องปฏิบัติการ

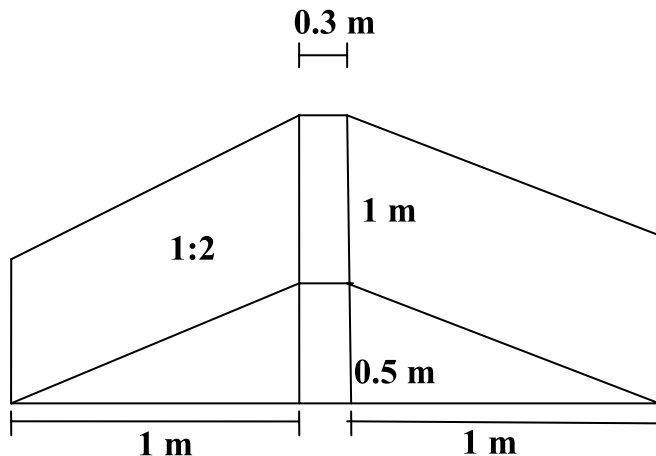
- (1) สารเคมี เครื่องแก้ว และเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์โลหะหนักได้แก่ ตะกั่ว สารหนู และปรอท ตามที่กำหนดใน APHA, AWWA และ WEF (1992)

2. วิธีการ

2.1 การเตรียมพื้นที่ทดลอง

2.1.1 ลักษณะพื้นที่

ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้พื้นที่ทดลองในลำห้วยปลัดแก้ว โดยมีการวางพื้นที่ตัวอย่างสำหรับการทดลองไว้ 3 พื้นที่ทดลอง ซึ่งในแต่ละพื้นที่ทดลองมีขนาดความยาวเท่ากับ 27.90 เมตร โดยสร้างตามความยาวลำน้ำ ซึ่งในแต่ละพื้นที่นั้นจะมีฝายหินเรียงจำนวน 3 ฝาย เป็นฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ความกว้างฝายเท่ากับ 1.50 เมตร ความยาว 2.30 เมตร ความสูง 0.5 เมตร โดยความลาดชันของตัวฝายเท่ากับ 1 : 2 (ตั้ง : ราบ) และระยะห่างระหว่างฝายเท่ากับ 5 เมตร โดยมีอุปกรณ์ลักษณะ เช่น ไม้ลอ และตะแกรงลักษณะขนาดตา 1X1 ตารางนิ้ว ติดตั้งก่อนถึงฝายแรกระยะ 10 เมตร สำหรับการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่พื้นที่ทดลองจะปล่อยน้ำเสียเข้าบริเวณต้นฝาย แล้วออกทางท้ายฝาย ทั้ง 3 ฝาย



ภาพที่ 9 รูปแบบฝายหินเรียงลักษณะเป็นฝายสันคมรูปตัดสามเหลี่ยมก่อนข้างแบน อัตราส่วน 1:2

2.2 วัสดุอุปกรณ์ในการสร้างฝาย

2.2.1 หินปูนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 – 20 เซนติเมตร โดยเป็นหินที่สามารถหาได้ง่ายในพื้นที่ ซึ่งผู้วิจัยได้นำตัวอย่างหินที่ทำการวิจัยครั้งนี้มาวิเคราะห์ตรวจสอบคุณสมบัติแร่ทาง

ฟิลิคส์ที่กองวิเคราะห์และตรวจสอบทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี พบว่าหินชนิดพบเป็น หินปูนโดโลไมต์ (Dolomitic Limestone) ประกอบด้วยแร่โดโลไมต์ ($\text{Ca}(\text{MgCO}_3)_2$) และแคลไซต์ (CaCO_3) เป็นส่วนใหญ่ และมีสารเนื้อถ่านเกิดร่วมทำให้มีสีดำ

2.2.2 กระสอบทราย หมุดไม้และเอ็น

2.2.3 ตะแกรงคัดกษะขนาดตา 1X1 ตารางนิ้ว

2.3 พื้นที่พื้นที่ทดลอง

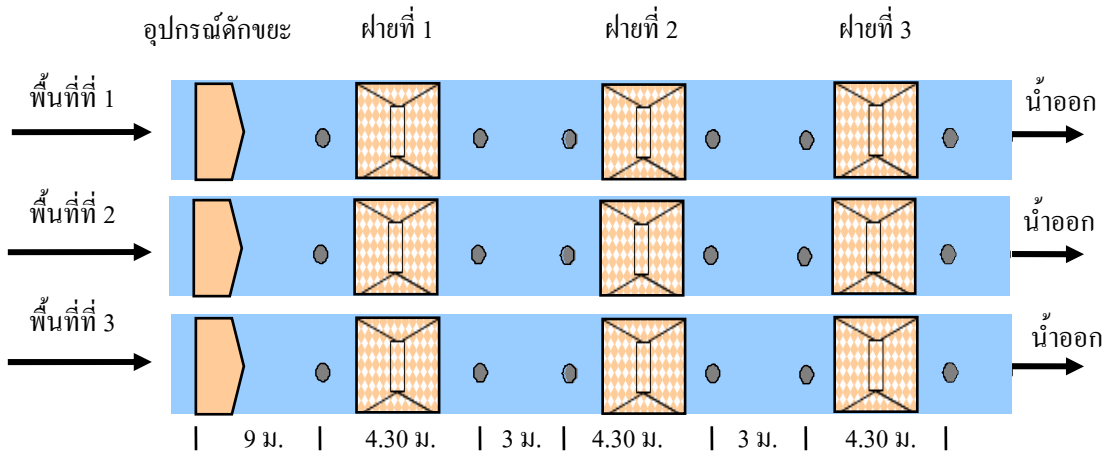
พื้นที่ที่ใช้ในการทดลองเป็นพื้นที่ในลำห้วยปลัดแก้วเพียงลำน้ำเดียวที่ได้รับน้ำเสีย จากชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอดมากที่สุด โดยในการทดลองได้วางพื้นที่ทดลองไว้ 3 ชุดทดลอง ซึ่งในแต่ละชุดการทดลองนั้นจะได้รับน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 บริเวณพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน รับน้ำเสียส่วนใหญ่จากบ้านเรือน และชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอด ปริมาณน้ำประมาณ 0.0019 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ความลาดชันของพื้นที่เท่ากับ 1.07 %

ชุดการทดลองที่ 2 บริเวณพื้นที่ทำการเทศบาลตำบลห้วยยอด รับน้ำเสียบางส่วนจาก สถานีราชการ ศูนย์สุขภาพชุมชน ถนนเพชร ปริมาณน้ำประมาณ 0.0021 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ความลาดชันของพื้นที่เท่ากับ 0.44%

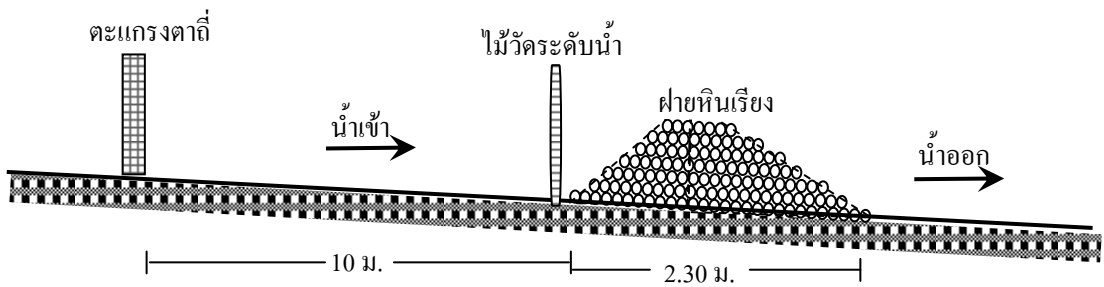
ชุดการทดลองที่ 3 บริเวณพื้นที่โรงงานผลิตขนมจีน รับน้ำเสียส่วนใหญ่จากการผลิต เส้นขนมจีนของ โรงงานและชุมชนที่อยู่ใกล้เคียง ปริมาณน้ำประมาณ 0.0019 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ความลาดชันของพื้นที่เท่ากับ 0.83 %

พื้นที่ทดลองขนาด 1.50 X 28.90 ตารางเมตร



หมายเหตุ ● หมายถึง จุดเก็บตัวอย่าง พื้นที่ที่ 1 หมายถึง ศูนย์สุขภาพชุมชน, พื้นที่ที่ 2 หมายถึง ที่ทำการเทศบาล และพื้นที่ที่ 3 หมายถึง พื้นที่โรงงานขนมจีน

ภาพด้านบน



ภาพด้านข้าง

ภาพที่ 10 ลักษณะพื้นที่ทดลองการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ฝายหินเรียง

2.4 การก่อสร้างพื้นที่

เมื่อได้จุดในการก่อสร้างพื้นที่ทดลองซึ่งเป็นพื้นที่ที่ลำนํ้าเป็นเส้นตรงมีความยาวประมาณ 27.90 เมตรสำหรับวางฝายได้ 3 ฝายและอุปกรณ์ดัคชยะ ก่อนการก่อสร้างฝายจะใช้กระสอบทรายปิดกั้นลำนํ้าก่อนถึงจุดที่ทำการก่อสร้างฝาย เพื่อที่จะให้นํ้าลดปริมาณลงเพื่อความสะดวกในการก่อสร้างฝาย หลังจากนั้นจะทำความสะอาดพื้นที่ก่อสร้างโดยกำจัดเศษวัสดุออก แล้วปรับพื้นที่ให้เรียบสำหรับวางตำแหน่งฝาย ปักหมุดไม้ขนาดเล็กเพื่อกำหนดพื้นที่ในการก่อสร้างและใช้สายเอ็นในการสร้างแบบฝาย เมื่อได้รูปแบบฝายตามต้องการแล้วนำหินมาเรียงตามแบบที่กำหนดไว้ โดยวางเรียงซ้อนทับแบบสลับชั้นตามรูปแบบที่เตรียมไว้จนเต็ม ทำการสร้างฝายให้ครบ 3 ฝายตามรูปแบบการทดลองที่กำหนดไว้ สำหรับตะแกรงดัคชยะจะสร้างไว้ก่อนถึงจุดที่สร้างฝายแรก เป็นระยะทาง 10 เมตรเพื่อป้องกันเศษขยะเข้ามาอุดตันในตัวฝายได้

2.5 การทดลองบํ้าค่นํ้าเสีย

ดำเนินการปล่อยนํ้าเสียให้ไหลเข้าสู่พื้นที่ทดลองหลังจากก่อสร้างฝายเสร็จ ปล่อยให้นํ้าไหลซึมผ่านตัวฝายไปตามชั้นหินที่เรียงไว้ และผ่านออกทางด้านท้ายฝาย ทั้ง 3 ฝายโดยจะปล่อยให้นํ้าไหลผ่านตัวฝายตลอดการทดลองระยะเวลา 3 เดือนหรือ 11 สัปดาห์ โดยทำการเก็บตัวอย่างนํ้าในทุกสัปดาห์ที่ 4 ของเดือน

2.6 การเก็บตัวอย่างนํ้า

ทำการตรวจวัดคุณภาพนํ้าภาคสนามและเก็บตัวอย่างนํ้าเพื่อนํามาวิเคราะห์ปริมาณโลหะในนํ้าเสียทั้งหมด 3 ครั้งในรอบ หรือสัปดาห์ที่ 4, 8 และ 11 ของรอบการศึกษา โดยเก็บตัวอย่างนํ้าบริเวณก่อนเข้าและออกจากฝายในระยะห่าง 1 เมตรจากตัวฝายบริเวณกึ่งกลางลำนํ้าซึ่งใช้เป็นตัวแทนการบํ้าค่นํ้าของแต่ละฝาย สำหรับในจุดเก็บตัวอย่างนํ้าเข้าของฝายถัดไปจะอยู่ห่างจากจุดที่นํ้าออกของฝายก่อนหน้า 3 เมตร โดยจะมีระยะของจุดเก็บตัวอย่างนํ้าเท่ากันทั้ง 3 ฝาย โดยมีวิธีการวิเคราะห์ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4

2.7 การวิเคราะห์โลหะหนัก

ตัวอย่างน้ำที่เก็บมาได้ จะนำมาวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณโลหะหนักในน้ำเสีย ได้แก่ ตะกั่ว สารหนู และปรอท โดยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry ตามที่กำหนดไว้ใน APHA, AWWA and WEF (1992) เพื่อนำมาหาประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้ฝายหินเรียงต่อไป โดยใช้สูตร

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัด(ร้อยละ)} = \frac{\text{คุณสมบัติของน้ำเข้า- ออกจากฝายหินเรียง}}{\text{คุณสมบัติของน้ำเข้าพื้นที่}} \times 100$$

2.8 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก

2.8.1 การวิเคราะห์หาปริมาณปรอทและสารหนูในดินตะกอน

ซั่งตัวอย่างดินตะกอนที่ผ่านการฝั่งลมจนแห้งแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 65 mesh ด้วยเครื่องซั่งละเอียดประมาณ 1 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 ml เติม 2:1 H₂SO₄ : HNO₃ 15 ml. ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปใส่อ่างน้ำเย็นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปรอทและสารหนูระเหยออก หลังจากเย็นแล้วเติม 12 N HCl 2 ml แล้วนำไปย่อย ในเครื่องอังไอน้ำที่อุณหภูมิ 50 -60 องศาเซลเซียส ประมาณ 2-3 ชั่วโมง หรือจนใส หลังจากนั้นนำ flask มาตั้งในอ่างน้ำเย็น ค่อยๆ เติม 6% KMnO₄ เขย่าเบาๆ ประมาณ 15 นาที แล้วค่อยๆ เติม 6% KMnO₄ ลงไปอีก จนได้สีม่วง จากนั้นเติม 5% K₂S₂O₈ 5 ml. ตั้งทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง แล้วเติม (NH₂OH) - H₂SO₄ NaCl Solution 10 ml. เขย่าจนได้น้ำตัวอย่างที่ใส แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปวัดโลหะหนักต่อไป

2.8.2 การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในดินตะกอน

ซั่งตัวอย่างดินตะกอนที่ผ่านการฝั่งลมจนแห้งแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 65 mesh ประมาณ 1-3 กรัม ลงในหลอดย่อยตัวอย่าง เติม Acid mixture (ผสม Conc. HNO₃ และ Conc. HClO₄ ในอัตราส่วน 5:2) จำนวน 10 ml. นำไปย่อย ที่อุณหภูมิ 180 - 200 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใส ทิ้งให้เย็น กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ปริมาตร 50 ml. ด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวัดโลหะหนักต่อไป

2.8.3 การวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู ในตัวอย่างน้ำ

ตวงตัวอย่างน้ำ 50 ml. ใส่บีกเกอร์ ขนาด 250 ml เติมกรดซัลฟูริก 2.5 N 1 ml. แล้วเติมสารละลาย โปตัสเซียมเปอร์ซัลเฟต 5 ml. ต้มบนเตาต้ม ให้เดือดอ่อนๆ ประมาณ 30 – 40 นาที หรือจนกระทั่งเหลือปริมาตรประมาณ 10 ml ยกออกจากเตา ทิ้งให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 50 ml. ตามเดิม แล้วนำไปตรวจวัดต่อไป

2.8.4 การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วและปรอทในตัวอย่างน้ำ

ตัวอย่างน้ำ 100 ml. เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 ml. ระเหยให้แห้ง (โดยไม่ให้น้ำ ตัวอย่างเดือดขณะทำการระเหย) จนมีปริมาตรเหลือประมาณ 15 – 20 ml. ระเหยต่อจนเกิด ควันขาว และสารละลายใส ทิ้งให้เย็นเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 ml. ระเหยอีกครั้งหนึ่ง ทิ้งไว้ให้เย็นกรอง ตัวอย่างน้ำด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ใส่ในกระบอกตวงขนาด 100 ml. ล้างด้วยน้ำกลั่น 5 ml. 2 ครั้ง ปรับปริมาตรให้เป็น 100 ml. แล้วจึงนำไปวัดปริมาณความเข้มข้น ของโลหะหนักต่อไป

ตารางที่ 4 ดัชนีและวิธีการวิเคราะห์น้ำเสีย โดยใช้วิธีการของ APHA, AWWA and WEF(1992)

ลำดับที่	ดัชนีคุณภาพน้ำ	วิธีการวิเคราะห์	หมายเหตุ
1.	อุณหภูมิ (°C)	pH meter	วิเคราะห์ภาคสนาม
2.	ความเป็นกรดเป็นด่าง	pH meter	วิเคราะห์ภาคสนาม
3.	สารแขวนลอยที่ละลายในน้ำ	EC meter	วิเคราะห์ภาคสนาม
4.	การนำไฟฟ้า	EC meter	วิเคราะห์ภาคสนาม
5.	ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l)	DO meter	วิเคราะห์ภาคสนาม
6.	ความเค็ม (พีพีที)	pH meter	วิเคราะห์ภาคสนาม
7.	ตะกั่ว (mg/l)	Atomic absorbtion spectrophotometer	วิเคราะห์ห้องปฏิบัติการ
8.	สารหนู(mg/l)	Atomic absorbtion spectrophotometer	วิเคราะห์ห้องปฏิบัติการ
9.	ปรอท(mg/l)	Atomic absorbtion spectrophotometer	วิเคราะห์ห้องปฏิบัติการ

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลปริมาณโลหะหนักที่ได้จากการวิเคราะห์ และประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนักที่ได้จากการคำนวณจะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติหาค่าเฉลี่ยของแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง เพื่ออธิบายลักษณะทั่วไปของข้อมูล โดยการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณโลหะหนักที่เข้าและออกจากฝายทั้ง 3 พื้นที่ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบเปรียบเทียบ (Paired – Sample t – test) ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.05$ ส่วนการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพที่ได้ของฝายในแต่ละพื้นที่, ความแตกต่างของระยะเวลาในการทดลอง และความแตกต่างของพื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One – Way Analysis of Variance) ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.05$ และเมื่อพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจะทำการทดสอบด้วยวิธี Duncan's Nem Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.05$ เพื่อทดสอบให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักแต่ละชนิดที่ทำการทดลอง มีความแตกต่างกัน

3.สถานที่ทำการวิจัย

ทำการทดลองบริเวณลำห้วยปลัดแก้วเทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง

4. ระยะเวลาการวิจัย

ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2551 ถึง มีนาคม 2551 รวมเป็นระยะเวลา 11 สัปดาห์

ผลและวิจารณ์

ผล

การศึกษาประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียชุมชนของเทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียวิธีใหม่ที่มีการนำฝายหินเรียง หรือ Rock Check Dam มาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยเป็นวิธีการที่ง่ายและสามารถใช้ได้ในพื้นที่ชุมชนต่างๆ เพื่อเป็นการช่วยบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นให้กับชุมชน โดยทำการทดลองในพื้นที่ทดลองวิจัย 3 พื้นที่ทดลองด้วยกันคือ หลังศูนย์สุขภาพชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอดเป็นจุดแรกที่ทำการทดลองโดยรับน้ำเสียจากตัวชุมชนซึ่งมีปริมาณของโลหะหนักที่ปนเปื้อนออกมาทั้งจากโรงพิมพ์ ร้านซ่อมรถจักรยานยนต์ สถานพยาบาลเอกชน และอาคารบ้านเรือน ทำให้เกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ จุดที่สอง บริเวณที่ทำการเทศบาลตำบลห้วยยอดเป็นจุดที่ได้รับน้ำเสียบางส่วนจากอาคารสำนักงานของอำเภอ ศูนย์สุขภาพชุมชนเทศบาลห้วยยอด และชุมชน จุดที่สามบริเวณ โรงงานผลิตขนมจีน เป็นจุดที่ได้รับน้ำเสียมาจากโรงงานผลิตขนมจีนและอาคารบ้านเรือน ทำการวิจัยเป็นระยะเวลา 11 สัปดาห์หรือ 3 เดือน เก็บตัวอย่างน้ำเสียทุกสัปดาห์ที่ 4 หลังจากที่ทำกรเก็บตัวอย่างแล้วจะนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ ตะกั่ว, สารหนู และปรอท ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด และเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากการทดลองต่างพื้นที่กัน สำหรับข้อมูลพื้นฐานของน้ำเสียเทศบาลตำบลห้วยยอดและผลจากการบำบัดที่ได้จากฝายหินเรียงสามารถแสดงได้ดังนี้

1. ข้อมูลน้ำเสียชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอด

เทศบาลตำบลห้วยยอด มีประชากรเมื่อเดือนกันยายน 2549 ทั้งสิ้น 9,856 คนจำนวนหลังคาเรือนทั้งหมด 3,498 หลัง ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ย 1,598 คน ต่อตารางกิโลเมตร โดยกรมควบคุมมลพิษได้คาดคะเนว่าคนไทยในภาคใต้มีอัตราการเกิดน้ำเสียในปี พ.ศ. 2550 ปริมาณ 226 ลิตร/คน/วัน หรือประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้ (สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2538) ทำให้เทศบาลตำบลห้วยยอดมีน้ำเสียประมาณ 2,208.5 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ถ้าช่วยปลัดแก้วเป็นลำห้วยที่ได้รับปริมาณน้ำเสียจากชุมชนเทศบาลห้วยยอดมากที่สุด และยังมีการปนเปื้อนของโลหะหนักจากกิจกรรมภายในชุมชนมากที่สุด โดยลำห้วยปลัดแก้วมีความยาว 1,312 เมตร และมีน้ำเสียที่ถูกปล่อยทิ้งลงตลอดลำห้วยปลัดแก้วโดยประมาณ 1,828.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยน้ำเสียส่วนหนึ่งมีการปนเปื้อนของโลหะหนักจากกิจกรรมของชุมชนที่ทำให้มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก เช่น การตั้ง

บ้านเรือน ตลาดสด ร้านค้า ร้านเสริมสวย ร้านซ่อมรถ สถานพยาบาลต่างๆ โรงงานผลิตขนมจีน การคมนาคมขนส่ง โรงพิมพ์และร้านถ่ายเอกสาร เป็นต้น

2. การศึกษาปริมาณโลหะหนักเบื้องต้นในน้ำเสียชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอด

ลำห้วยปลัดแก้วเป็นลำน้ำที่ได้รับน้ำเสียมากที่สุดและเป็นลำน้ำที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของฝายหินเรียง โดยก่อนการศึกษาวิจัยเรื่องการใช้ฝายหินเรียงในการบำบัดโลหะหนักนั้น ผู้ทำการวิจัยจำเป็นต้องทราบถึงชนิดและปริมาณของโลหะหนักที่จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในลำน้ำแห่งนี้เพื่อที่จะได้เลือกชนิดของโลหะหนักที่จะทำการศึกษาได้ถูกต้องตามความเหมาะสม โดยในการศึกษาปริมาณโลหะหนักเบื้องต้นนั้นในลำห้วยปลัดแก้วจะทำการศึกษาโลหะหนักตลอดลำน้ำทั้งหมด 7 จุดด้วยกัน คือ จุดข้างการไฟฟ้า, ซอยตรอกจีหมา, สถานพยาบาล, ศูนย์สุขภาพชุมชน, หลังที่ทำการเทศบาลตำบลห้วยยอด, โรงงานผลิตขนมจีนและจุดสิ้นสุดลำห้วยปลัดแก้ว โดยเมื่อได้ชนิดและปริมาณของโลหะหนักแต่ละชนิดที่จะทำการศึกษาแล้ว จึงจำเป็นที่จะต้องมากำหนดจุดในการทำการทดลองเรื่องประสิทธิภาพของฝายหินเรียงต่อไป ซึ่งได้เลือกจุดทดลอง 3 จุดในลำห้วยปลัดแก้วคือ ศูนย์สุขภาพชุมชน, ที่ทำการเทศบาลตำบลห้วยยอด และ โรงงานผลิตขนมจีน ซึ่งเป็นพื้นที่ในแนวตรงที่เหมาะสมสำหรับการวางฝายในการทดลองได้ 3 ฝาย

สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนดินเพื่อศึกษาคุณภาพในเบื้องต้น บริเวณลำห้วยปลัดแก้วนั้นได้ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาหาปริมาณโลหะหนักที่จะส่งผลเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างใน 2 ช่วงเวลาคือ ครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2549 และครั้งที่ 2 เมื่อวันที่ 29 มิถุนายน 2550 เพื่อใช้ในการพิจารณาเลือกชนิดโลหะหนักในการทดลองต่อไป สำหรับผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักเบื้องต้นในลำน้ำสามารถแสดงได้ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักเบื้องต้นในน้ำเสียชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอดครั้งที่ 1 วันที่ 10 พฤศจิกายน 2549

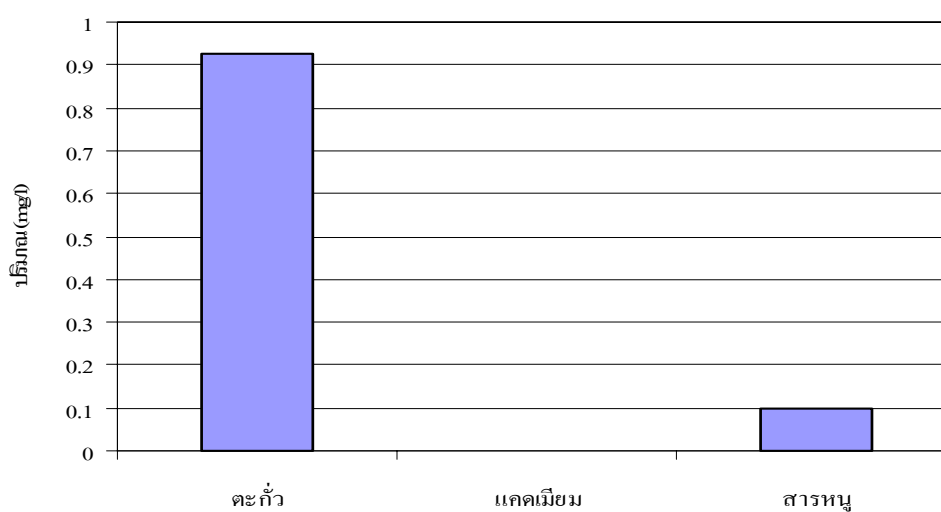
ในการเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาชนิดและปริมาณโลหะหนักเบื้องต้นที่พบในน้ำเสียชุมชนในคลองห้วยปลัดแก้ว ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2549 ได้ศึกษาชนิดของโลหะหนักที่จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ คือ ตะกั่ว, แคดเมียม และสารหนู โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียและตะกอนดินตามจุดต่างๆ เพื่อหาปริมาณของโลหะหนักแต่ละชนิดสำหรับนำมาใช้ในการพิจารณาเลือกชนิดของโลหะหนักที่จะใช้ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ฝายหินเรียงต่อไป โดยปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียและตะกอนดินของจุดเก็บตัวอย่างเบื้องต้นนี้แสดงไว้ในตารางที่ 5, 6 และภาพที่ 11, 12 พบว่า ในลำห้วยปลัดแก้วมีการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำเสียสูงที่สุดคือ ตะกั่ว รองลงมาคือ สารหนู สำหรับโลหะหนักที่ไม่พบในน้ำคือ แคดเมียม โดยพบว่าปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.05 ถึง 4.96 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยที่ 0.927 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับปริมาณสารหนูที่มีการปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.010 ถึง 0.204 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยที่ 0.097 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณแคดเมียมไม่พบตลอดทั้งลำน้ำ

สำหรับตะกอนดินนั้นสามารถหาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดได้ โดยปริมาณที่มีการพบมากที่สุดคือตะกั่ว รองลงมาคือ สารหนู และแคดเมียมตามลำดับ โดยพบว่าปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.55 ถึง 10.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าเฉลี่ยที่ 3.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสารหนูที่ปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.53 ถึง 1.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าเฉลี่ยที่ 0.97 และปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ในช่วง ND ถึง 0.076 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าเฉลี่ยที่ 0.014 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จึงทำให้เห็นได้ว่าชนิดของโลหะหนักที่สามารถพบได้มากในการศึกษาเบื้องต้นครั้งที่ 1 คือ ตะกั่วและสารหนู

ตารางที่ 5 ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียตลอดลำห้วยปลัดแก้วในการเก็บตัวอย่างเบื้องต้นครั้งที่ 1
วันที่ 10 พฤศจิกายน 2549 (มิลลิกรัม/ลิตร)

จุดที่	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ (กิจกรรมตลอดลำน้ำ)	ปริมาณโลหะหนัก(mg/l)		
		ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู
1	หน้าการไฟฟ้า	0.05	ND	0.010
2	ซอยตรอกจันทน์	0.29	ND	0.204
3	สถานพยาบาล	0.13	ND	0.157
4	ศูนย์สุขภาพชุมชน	4.96	ND	0.105
5	หลังเทศบาลตำบลห้วยยอด	0.15	ND	0.065
6	โรงงานขนมจีน	0.80	ND	0.067
7	สุดเขตห้วยปลัดแก้ว	0.11	ND	0.073
ค่าเฉลี่ย		0.927	ND	0.097
ค่ามาตรฐาน		ไม่เกิน 0.05	ไม่เกิน 0.05	ไม่เกิน 0.01

หมายเหตุ ND = ไม่สามารถตรวจพบได้

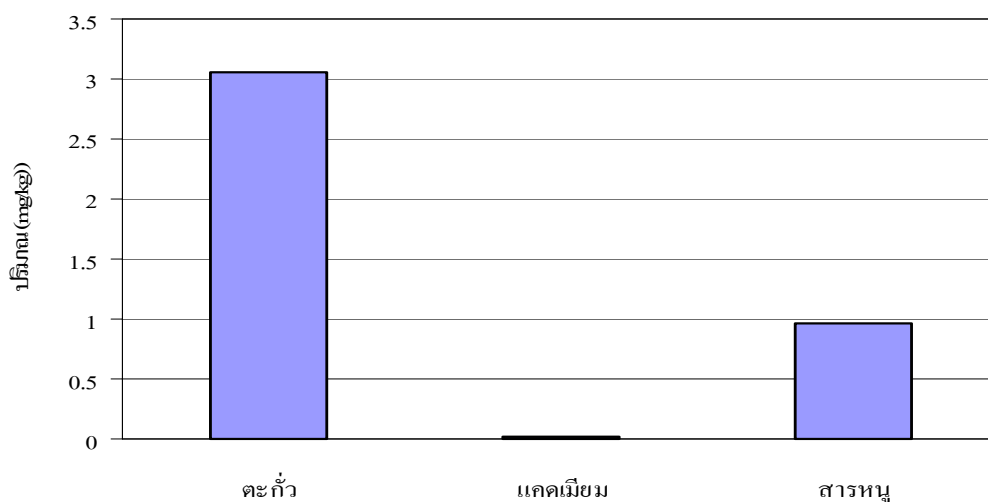


ภาพที่ 11 ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในน้ำเสียตลอดลำห้วยปลัดแก้วในการเก็บตัวอย่างเบื้องต้น ครั้งที่ 1 วันที่ 10 พฤศจิกายน 2549

ตารางที่ 6 ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนตลอดลำน้ำห้วยปลัดแก้วในการเก็บตัวอย่างเบื้องต้น ครั้งที่ 1 วันที่ 10 พฤศจิกายน 2549 (มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)

จุดที่	จุดเก็บตัวอย่างตะกอนดิน (กิจกรรมตลอดลำน้ำ)	ปริมาณโลหะหนัก(mg/kg)		
		ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู
1	น้ำการไฟฟ้า	10.92	0.076	0.67
2	ชอยตรอกชีหมา	0.55	0.010	1.15
3	สถานพยาบาล	0.52	0.004	1.08
4	ศูนย์สุขภาพชุมชน	0.52	0.002	0.91
5	หลังเทศบาลตำบลห้วยยอด	7.74	ND	0.53
6	โรงงานขนมจีน	0.62	0.006	1.15
7	สุดเขตห้วยปลัดแก้ว	0.55	0.002	1.30
ค่าเฉลี่ย		3.06	0.014	0.97

หมายเหตุ ND = ไม่สามารถตรวจพบได้



ภาพที่ 12 ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในดินตะกอนตลอดลำน้ำห้วยปลัดแก้วในการเก็บตัวอย่างเบื้องต้น ครั้งที่ 1 วันที่ 10 พฤศจิกายน 2549

จากผลของการเก็บตัวอย่างโลหะหนักเบื้องต้นในครั้งที่ 1 ทำให้เห็นได้ว่าชนิดของโลหะหนักที่จะก่อให้เกิดอันตรายและมีความจำเป็นที่จะต้องได้รับการบำบัดมากที่สุดคือ ตะกั่ว และสารหนู โดยในการศึกษาคุณภาพน้ำในครั้งต่อไปจะได้นำชนิดของโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดมาใช้ในการศึกษาอีกครั้ง เพื่อให้ให้เห็นความสำคัญของโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดอีกครั้ง ซึ่งสามารถช่วยในการพิจารณาเลือกชนิดของโลหะหนักที่จะนำไปศึกษาในการบำบัดโดยใช้ฟายหินเรียงต่อไป

2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักเบื้องต้นในน้ำเสียชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอดครั้งที่ 2 วันที่ 29 มิถุนายน 2550

ในการเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาชนิดและปริมาณโลหะหนักเบื้องต้นที่พบในน้ำเสียชุมชนในคลองห้วยปลัดแก้วในครั้งที่ 2 นี้ ทำการเก็บตัวอย่าง เมื่อวันที่ 29 มิถุนายน 2550 โดยพิจารณาเลือกชนิดของโลหะหนัก คือ สารหนู, ตะกั่ว และปรอท โดยสารหนู และตะกั่ว เป็นชนิดของโลหะหนักที่ให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากในการศึกษาชนิดและปริมาณโลหะหนักเบื้องต้นในครั้งที่ 1 นั้นพบว่าโลหะหนักทั้งสองชนิดมีปริมาณที่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ทำให้ในการศึกษาเบื้องต้นครั้งที่ 2 ได้เลือกโลหะหนักทั้งสองชนิดมาศึกษาอีกครั้งหนึ่งด้วย สำหรับจุดเก็บตัวอย่างจะใช้จุดเดียวกันกับการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 โดยจะเป็นการเลือกชนิดของโลหะหนักที่จะนำมาใช้ในการทำการวิจัยหาประสิทธิภาพของฟายหินเรียงในการบำบัดโลหะหนักต่อไป โดยปริมาณของโลหะหนักในน้ำเสียและตะกอนดินที่ได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละชนิดจะแสดงได้ในตารางที่ 7, 8 และภาพที่ 13, 14

ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำในครั้งนี้นับพบว่าชนิดโลหะหนักที่มีการปนเปื้อนมากที่สุดคือ สารหนู รองลงมาคือตะกั่ว และปรอท โดยพบว่า ปริมาณสารหนูที่ปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.0022 ถึง 0.039 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.019 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนอยู่ในช่วง ND ถึง 0.056 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยที่ 0.016 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณปรอทที่ปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.0018 ถึง 0.0060 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0053 มิลลิกรัมต่อลิตร

สำหรับตะกอนดินนั้นสามารถหาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดโดยปริมาณที่มีการพบมากที่สุดคือ ตะกั่ว, สารหนู และปรอท ตามลำดับ โดยปริมาณตะกั่วมีการปนเปื้อนอยู่ในช่วง 2.35 ถึง 34.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าเฉลี่ยที่ 10.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสารหนูที่ปนเปื้อนอยู่ในช่วง 1.221 ถึง 15.910 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าเฉลี่ยที่ 4.747

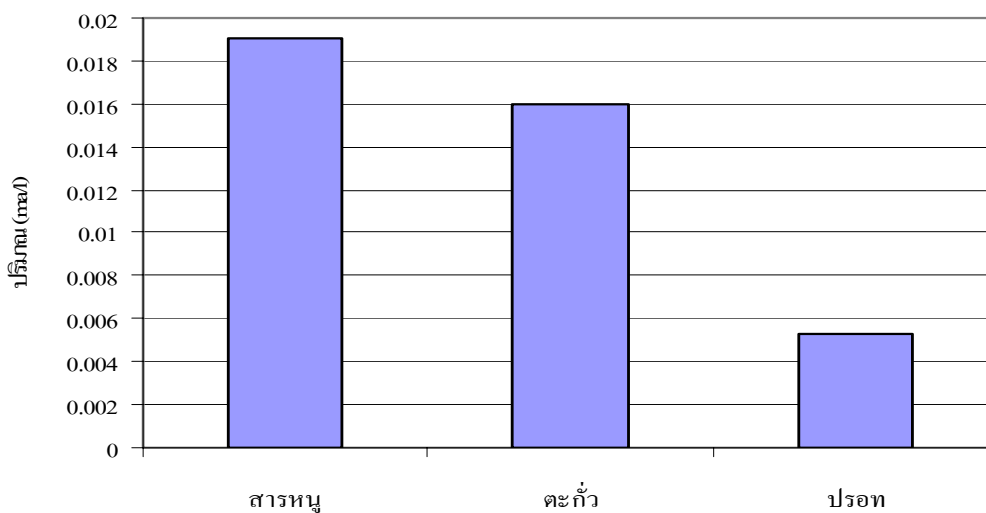
มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณปรอทที่ปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.093 ถึง 1.759 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าเฉลี่ยที่ 0.475 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ซึ่งจากการศึกษาในครั้งที่ 2 นี้ยังพบปริมาณของตะกั่วและสารหนูในน้ำและดินตะกอนที่มากเช่นเดิมทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องเลือกตะกั่วและสารหนู เป็นโลหะหนักชนิดหลักที่จะใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของฝายหินเรียง และเพิ่มชนิดของปรอทขึ้นมาเนื่องจากมีค่าเกินมาตรฐานมาก และเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

ตารางที่ 7 ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียดลอดลำห้วยปลัดแก้ว ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2
วันที่ 29 มิถุนายน 2550 (มิลลิกรัม/ลิตร)

จุดที่	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ (กิจกรรมตลอดลำน้ำ)	ปริมาณโลหะหนัก(mg/l)		
		สารหนู	ตะกั่ว	ปรอท
1	หน้าการไฟฟ้า	0.002	0.028	0.0030
2	ซอยตรอกจันทมา	0.039	ND	0.0034
3	สถานพยาบาล	0.020	ND	0.0060
4	ศูนย์สุขภาพชุมชน	0.024	ND	0.0060
5	หลังเทศบาลตำบลห้วยยอด	0.024	0.056	0.0050
6	โรงงานขนมเงิน	0.012	ND	0.0121
7	สุดเขตห้วยปลัดแก้ว	0.009	0.028	0.0018
ค่าเฉลี่ย		0.019	0.016	0.0053
ค่ามาตรฐาน		ไม่เกิน 0.01	ไม่เกิน 0.05	ไม่เกิน 0.002

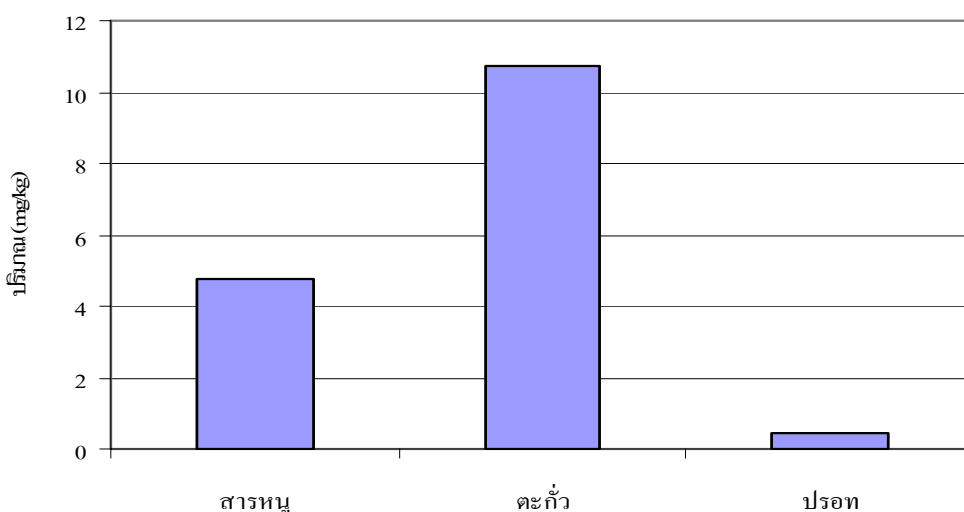
หมายเหตุ ND = ไม่สามารถตรวจพบได้



ภาพที่ 13 ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในน้ำเสียตลอดลำห้วยปลัดแก้ว ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 วันที่ 29 มิถุนายน 2550

ตารางที่ 8 ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนตลอดลำห้วยปลัดแก้ว ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 วันที่ 29 มิถุนายน 2550 (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

จุดที่	จุดเก็บตัวอย่างดินตะกอน (กิจกรรมตลอดลำน้ำ)	ปริมาณโลหะหนัก(mg/kg)		
		สารหนู	ตะกั่ว	ปรอท
1	หน้าการไฟฟ้า	4.397	9.18	0.365
2	ซอยตรอกจีหมา	1.221	2.35	0.254
3	สถานพยาบาล	1.900	5.11	0.343
4	ศูนย์สุขภาพชุมชน	2.054	34.70	0.334
5	หลังเทศบาลตำบลห้วยยอด	15.910	10.30	1.759
6	โรงงานขนมจีน	1.717	4.87	0.093
7	สุคเขตห้วยปลัดแก้ว	6.034	8.51	0.178
ค่าเฉลี่ย		4.747	10.72	0.475



ภาพที่ 14 ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในดินตะกอนตลอดลำห้วยปลัดแก้ว เก็บตัวอย่างครั้งที่ 2
วันที่ 29 มิถุนายน 2550

2.3 สรุปผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักเบื้องต้นในน้ำเสียมุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอด

จากการศึกษาปริมาณตะกั่ว แคดเมียมและสารหนูในน้ำเสียมุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอดในครั้งที่ 1 นี้เมื่อนำค่าเฉลี่ยของโลหะหนักแต่ละชนิดที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ฝ่ายพัฒนาและผลิตสื่อ, 2541) พบว่าปริมาณตะกั่วและสารหนูในน้ำมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ทำให้จำเป็นต้องเลือกโลหะหนักทั้งสองชนิดมาใช้ในการศึกษาวิจัยในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ฝายหินเรียง โดยโลหะหนักทั้งสองชนิดนี้มีการปนเปื้อนมาจากกิจกรรมของชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอด เช่น จากกิจกรรมของโรงพิมพ์และร้านซ่อมรถจักรยานยนต์ที่มีการปล่อยน้ำเสียที่มีตะกั่วลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง หรือมาจากแบตเตอรี่ที่มีส่วนประกอบของสารหนูผสมกับตะกั่ว กิจกรรมของบ้านเรือนที่มีการใช้ยาฆ่าแมลงหรือยาฆ่าเชื้อที่มีส่วนประกอบของสารหนู และมาจากการชะล้างของสารหนูที่อยู่ร่วมกับสายแร่ดินที่บริเวณนี้ด้วย สำหรับแคดเมียมนั้นไม่พบตลอดทั้งลำน้ำ ซึ่งทำให้เห็นได้ว่าพื้นที่ของเทศบาลตำบลห้วยยอดมีกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้แคดเมียมน้อยมาก ทำให้การศึกษาในการทดลองต่อไปไม่จำเป็นต้องใช้แคดเมียมเป็นตัวชี้วัด

สำหรับการศึกษาปริมาณโลหะหนักที่จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำเสียมุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอดในครั้งที่ 2 นี้ได้ทำการเลือกชนิดของโลหะหนัก 3 ชนิดด้วยกันคือ สารหนู ตะกั่วและปรอท

ซึ่งปรอทเป็นโลหะหนักที่เพิ่มเติมจากการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 1 เนื่องจากปรอทมีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตแม้เพียงปริมาณเล็กน้อย โดยเมื่อทำการศึกษาพบว่าเมื่อนำค่าเฉลี่ยของโลหะหนักแต่ละชนิดที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ฝ่ายพัฒนาและผลิตสื่อ, 2541) พบว่าในครั้งนี้ปริมาณสารหนูและปรอทในน้ำมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ทำให้จำเป็นที่จะต้องเลือกโลหะหนักทั้งสองชนิดมาใช้ในการศึกษาวิจัยเรื่องประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดโลหะหนัก โดยโลหะหนักที่เกินมาตรฐานทั้งสองชนิดนี้มีการปนเปื้อนมาจากกิจกรรมของชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอด เช่น จากกิจกรรมของสถานพยาบาลที่มีการนำปรอทมาใช้ในการรักษาโรครวมทั้งอุปกรณ์การแพทย์ที่มีส่วนประกอบของปรอทมาใช้ อีกทั้งสารหนูนั้นมาจากการปนเปื้อนต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น สำหรับการปนเปื้อนของตะกั่วในครั้งนี้แม้ในบางจุดจะไม่พบปริมาณตะกั่วในน้ำแต่ในตะกอนดินยังพบว่ามียปริมาณตะกั่วในดินตะกอนสูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่น และพบว่าบางจุดพบสารตะกั่วในน้ำซึ่งมีปริมาณเกินค่ามาตรฐานทำให้จำเป็นที่จะต้องศึกษาปริมาณตะกั่วในการทดลองต่อไป

โดยการเลือกชนิดของโลหะหนักที่จะใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของฝายหินเรียงจากการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นทั้งสองครั้งในลำห้วยปลัดแก้ว ทำให้สามารถเลือกชนิดของโลหะหนักได้ 3 ชนิดด้วยกันคือ ตะกั่ว สารหนู และปรอท ซึ่งเป็นชนิดของโลหะหนักที่พบมากในห้วยปลัดแก้วทั้งในน้ำเสียและดินตะกอน ซึ่งสามารถส่งผลให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำได้ หากโลหะหนักเหล่านี้ไม่ได้รับการจัดที่เหมาะสม โลหะหนักจะสามารถไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติที่รองรับน้ำเสียจากห้วยปลัดแก้วคือคลองห้วยยอด ไหลลงสู่แม่น้ำตรังและทะเลต่อไป ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหา คือการสะสมของปริมาณโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำ ทั้งสัตว์หน้าดินและที่อาศัยอยู่ตามมวลน้ำ โดยเกิดจากการที่โลหะหนักเกิดการปนเปื้อนลงในตะกอนดินทำให้สัตว์หน้าดินในธรรมชาติเกิดการสะสมของโลหะหนักในร่างกายเมื่อมีสัตว์น้ำที่กินสัตว์หน้าดินเป็นอาหารกินเข้าไปก็จะไปสะสมอยู่ในร่างกายสัตว์น้ำชนิดนั้น อีกส่วนหนึ่งเกิดจากกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่กินแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ที่มีการสะสมของโลหะหนักเข้าไปสามารถเข้าไปสะสมในร่างกายได้เช่นกัน และเมื่อมนุษย์บริโภคสัตว์น้ำที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก ทำให้เกิดการสะสมในร่างกายมนุษย์และก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพร่างกายของมนุษย์ต่อไป เมื่อเห็นถึงความสำคัญของปัญหาโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียของลำห้วยปลัดแก้วทำให้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักจะต้องได้รับการบำบัดให้มีปริมาณที่ลดลงให้อยู่ในค่ามาตรฐานก่อนปล่อยลงสู่คลองห้วยยอดเพื่อที่จะทำให้ไม่เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำและสิ่งแวดล้อมที่อยู่ในบริเวณนี้ต่อไป

สำหรับสัดส่วนของโลหะหนักที่พบในน้ำเสียและในดินตะกอนนั้น สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณสัดส่วนของโลหะหนักแต่ละชนิดที่พบในน้ำเสียลำห้วยปลัดแก้ว คือ สารหนู ตะกั่ว และปรอท ดังตารางที่ 9 โดยพบว่า อัตราส่วนของสารหนูที่พบในครั้งที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 1 : 5.61 – 67.00 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 : 10.00 อัตราส่วนของสารหนูในครั้งที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 1 : 31.31 – 2,198.50 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 : 249.84 สำหรับในตะกั่วพบอัตราส่วนของตะกั่วในครั้งที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 1 : 0.10 – 218.40 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 : 3.30 อัตราส่วนของตะกั่วในครั้งที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 1 : 183.93 – 327.86 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 : 670.00 และอัตราส่วนของปรอทมีค่าอยู่ในช่วง 1 : 7.69 – 351.80 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 : 89.62 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในครั้งที่ 2 ของสารหนูและตะกั่ว เป็นช่วงการเก็บตัวอย่างในปลายฤดูแล้งทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดินมีมากกว่าครั้งที่ 1 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนของตำบลห้วยยอด โดยมีปริมาณน้ำน้อยและการไหลของน้ำช้ากว่าช่วงฤดูฝนทำให้ตะกอนดินสามารถดูดซับโลหะหนักได้มากกว่าช่วงฤดูฝน

ตารางที่ 9 แสดงสัดส่วนของปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียและดินตะกอนบริเวณลำห้วยปลัดแก้ว

จุดที่	จุดเก็บตัวอย่าง	สัดส่วนโลหะหนักแต่ละชนิดในน้ำต่อดินตะกอน				
		สารหนู ครั้งที่ 1	สารหนูครั้งที่ 2	ตะกั่วครั้งที่ 1	ตะกั่วครั้งที่ 2	ปรอท
1	หน้าการไฟฟ้า	1 : 67.00	1 : 2,198.50	1 : 218.40	1 : 327.86	1 : 121.67
2	ซอยตรอกจี่หมา	1 : 5.64	1 : 31.31	1 : 1.90	-	1 : 74.71
3	สถานพยาบาล	1 : 6.88	1 : 95.00	1 : 4.00	-	1 : 57.17
4	ศูนย์สุขภาพ ชุมชน	1 : 8.67	1 : 85.58	1 : 0.10	-	1 : 55.67
5	หลังเทศบาล ตำบลห้วยยอด	1 : 8.15	1 : 662.92	1 : 51.60	1 : 183.93	1 : 351.80
6	โรงงานขนมเงิน	1 : 17.16	1 : 143.08	1 : 0.78	-	1 : 7.69
7	สุดเขตห้วยปลัด แก้ว	1 : 17.81	1 : 670.44	1 : 5.00	1 : 303.93	1 : 98.89
	เฉลี่ย	1 : 10.00	1 : 249.84	1 : 3.30	1 : 670.00	1 : 89.62

หมายเหตุ : ครั้งที่ 1 วันที่ 10 พฤศจิกายน พ.ศ. 2549, ครั้งที่ 2 วันที่ 29 มิถุนายน พ.ศ. 2550

3. การศึกษาคุณภาพน้ำบริเวณฝายหินเรียง

เมื่อได้ชนิดของโลหะหนักที่จะทำการศึกษาประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดแล้ว ในการวิจัยจำเป็นจะต้องศึกษาคุณภาพน้ำตัวอื่นด้วย เนื่องจากคุณภาพน้ำแต่ละดัชนี มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณการลดลงของโลหะหนักด้วย โดยในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งจะมีการตรวจวัดคุณภาพน้ำในภาคสนามเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งน้ำในการทดลอง โดยมีผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีที่วัดได้ในภาคสนามตามตารางที่ 10 ถึงตารางที่ 12 และมีรายละเอียดในการศึกษาดังนี้

3.1 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ในการวิเคราะห์ผลทั้ง 3 ครั้ง (ตารางผนวกที่ 1) ของพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน พื้นที่ทำการเทศบาล และพื้นที่โรงงานขนมเงินมีผลการวิเคราะห์พบว่าในครั้งที่ 1 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 0.06 ถึง 0.27, 0.05 ถึง 0.18, 0.08 ถึง 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในครั้งที่ 2 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 0.06 ถึง 0.62, 0.13 ถึง 0.40 และ 0.3 ถึง 0.72 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และในครั้งที่ 3 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 0.09 ถึง 0.33, 0.06 ถึง 0.13 และ 0.08 ถึง 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ตรวจวัดในทุกครั้งนั้นพบว่ามีความใกล้เคียงกันในทุกพื้นที่และมีค่าออกซิเจนที่ต่ำมาก เนื่องจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย จึงทำให้ปริมาณออกซิเจนในพื้นที่นี้มีค่าต่ำมาก

3.2 อุณหภูมิในการวิเคราะห์ผลทั้ง 3 ครั้ง (ตารางผนวกที่ 2) ของพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน พื้นที่ทำการเทศบาล และพื้นที่โรงงานขนมเงิน มีผลการวิเคราะห์พบว่าในครั้งที่ 1 ค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25.5 ถึง 25.9, 25.5 ถึง 26.1 และ 26.1 ถึง 26.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในครั้งที่ 2 อุณหภูมิอยู่ในช่วง 25.5 ถึง 25.6, 26.0 ถึง 26.2 และ 26.6 ถึง 27.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และในครั้งที่ 3 อุณหภูมิอยู่ในช่วง 25.5 ถึง 25.6, 26.2 ถึง 26.4 และ 26.1 ถึง 26.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งปริมาณอุณหภูมิในทุกครั้งที่ทำการตรวจวัดมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วงอุณหภูมิปกติในทุกพื้นที่ที่ทำการทดลอง โดยเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นจะทำให้การนำไฟฟ้าสูงขึ้นและปริมาณของแข็งละลายน้ำสูงขึ้นตามมาด้วย และอุณหภูมิมิผลต่อค่าการละลายน้ำได้ (Solubility) โดยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลต่อความสามารถในการทำให้ค่าการละลายน้ำลดลง จึงสามารถเปลี่ยนสารละลายเป็นของแข็งได้

3.3 ความเป็นกรดเป็นด่าง (พีเอช) ในการวิเคราะห์ผลทั้ง 3 ครั้ง (ตารางผนวกที่ 3) ของพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน พื้นที่ทำการเทศบาล และพื้นที่โรงงานขนมจีน มีผลการวิเคราะห์พบว่าในครั้งที่ 1 พีเอชอยู่ในช่วง 6.92 ถึง 7.00, 6.49 ถึง 6.59 และ 6.56 ถึง 6.61 ตามลำดับ ในครั้งที่ 2 พีเอชอยู่ในช่วง 6.57 ถึง 6.74, 6.44 ถึง 6.49 และ 6.32 ถึง 6.37 ตามลำดับ และในครั้งที่ 3 พีเอชอยู่ในช่วง 6.49 ถึง 6.51, 6.69 ถึง 6.72 และ 6.20 ถึง 6.25 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของพีเอชที่ตรวจวัดในทุกครั้งนั้นพบว่าพีเอชมีความใกล้เคียงในทุกพื้นที่และค่าอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง พีเอชมีผลต่อการบำบัดด้วยเช่นกัน คือ ที่พีเอชที่ 7.0-9.0 นั้นสารหนูสามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับแคลไซต์ทำให้เกิดการตกตะกอนเป็น $\text{CaHAsO}_3(\text{s})$ และที่พีเอชต่ำสามารถพบปริมาณตะกั่วในน้ำได้มาก (Onodera, 1985) พีเอชในน้ำที่ต่ำสามารถทำให้ตะกั่วสามารถตกตะกอนกับไฮโดรเจนไอออนในน้ำได้ เกิดเป็น PbOH^+ และ PbOH^{2+} และสามารถคงอยู่ในตะกอนได้ดียิ่งขึ้น

3.4 ความเค็ม ในการวิเคราะห์ผลทั้ง 3 ครั้ง (ตารางผนวกที่ 4) ของพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน พื้นที่ทำการเทศบาล และพื้นที่โรงงานขนมจีน มีผลการวิเคราะห์พบว่าในครั้งที่ 1 ค่าความเค็มอยู่ในช่วง 0.3, 0.3 และ 0.3 ถึง 0.4 พีพีที ตามลำดับ ในครั้งที่ 2 ค่าความเค็มอยู่ในช่วง 0.3, 0.4 และ 0.8 พีพีที ตามลำดับ และในครั้งที่ 3 ค่าความเค็มอยู่ในช่วง 0.3, 0.3 และ 0.3 พีพีที ตามลำดับ ซึ่งจากปริมาณค่าความเค็มที่ตรวจวัดในทุกครั้งพบว่ามีความใกล้เคียงกัน และน้ำมีความเค็มเล็กน้อยเนื่องจากในน้ำมีองค์ประกอบของเกลืออยู่

3.5 ค่าการนำไฟฟ้า ในการวิเคราะห์ผลทั้ง 3 ครั้ง (ตารางผนวกที่ 5) ของพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน พื้นที่ทำการเทศบาล และพื้นที่โรงงานขนมจีน มีผลการวิเคราะห์พบว่าในครั้งที่ 1 มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 531 ถึง 545, 622 ถึง 642 และ 781 ถึง 915 ไมโครซีเมนต์ ตามลำดับ ในครั้งที่ 2 ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 665 ถึง 670, 760 ถึง 769 และ 1,548 ถึง 1,657 ไมโครซีเมนต์ และในครั้งที่ 3 ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 678 ถึง 683, 623 ถึง 624, 1,248 ถึง 1,264 ไมโครซีเมนต์ ตามลำดับ ซึ่งจากค่าที่ได้พบในครั้งที่ 2 และ 3 ในพื้นที่บริเวณโรงงานขนมจีนมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงกว่าพื้นที่อื่นๆ เนื่องจากในช่วงที่ทำการเก็บตัวอย่างได้มีการปล่อยของน้ำแข็งที่ล้างจากโรงงานขนมจีนทำให้แข็งละลายในน้ำจำนวนมากซึ่งมีองค์ประกอบที่มีประจุอยู่ในส่วนประกอบจึงส่งผลถึงปริมาณค่าการนำไฟฟ้าด้วย โดยการวัดค่าการนำไฟฟ้านั้นเป็นการวัดการนำไฟฟ้าของสารละลายโลหะจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระที่มีทั้งบวกและลบ ไอออนบวกเช่น ไอออนของโลหะหนัก กลุ่ม Pb^{2+} และ Hg^{2+} เป็นต้น สำหรับไอออนลบเป็นกลุ่มของ CO_3^{2-} , SO_4^{2-} และ Cl^- เป็นต้น ซึ่งสามารถจับกับโลหะหนักและตกตะกอนได้ โดยจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้งพบว่าค่าการนำไฟฟ้าบริเวณหน้าฝายจะ

มากกว่าหลังฝาย ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนของไอออนบวกของโลหะหนักกับไอออนลบที่พบในแหล่งน้ำ

3.6 ปริมาณของแข็งละลายน้ำในการวิเคราะห์ผลทั้ง 3 ครั้ง (ตารางผนวกที่ 6) ของพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน พื้นที่ทำการเทศบาล และพื้นที่โรงงานขนมจิน มีผลการวิเคราะห์พบว่าในครั้งที่ 1 มีปริมาณของแข็งละลายน้ำอยู่ในช่วง 253 ถึง 261, 296 ถึง 306 และ 371 ถึง 435 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในครั้งที่ 2 ปริมาณของแข็งละลายน้ำอยู่ในช่วง 319 ถึง 322, 362 ถึง 366 และ 755 ถึง 782 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และในครั้งที่ 3 ปริมาณของแข็งละลายน้ำอยู่ในช่วง 326 ถึง 327 , 294 ถึง 295 และ 601 ถึง 607 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งจากค่าที่ได้นั้นสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับค่าการนำไฟฟ้าเนื่องจากพบว่าในครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 ในพื้นที่โรงงานขนมจินมีปริมาณค่าของแข็งละลายน้ำสูงกว่าค่าอื่นๆ เนื่องจากการปล่อยน้ำเสียที่มีแปงปนเปื้อนของโรงงานผลิตขนมจิน ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ทำให้ของแข็งละลายน้ำซึ่งมีองค์ประกอบของไอออนลบสามารถจับกับไอออนโลหะหนักและเกิดการตกตะกอนได้ โดยปริมาณของแข็งละลายน้ำที่มีค่าสูงมาก จะมีความสามารถในการรวมกับสารมลพิษและโลหะหนักได้ดี โดย Hannerz (1969) รายงานไว้ว่า สารแขวนลอยในน้ำจะทำหน้าที่คล้ายๆ กับตัวกำจัดปรอทออกไปจากน้ำ และ Bothner and Carpenter (1972) ได้รายงานว่าปริมาณ 50-70 % ของปรอท ไอออนในแม่น้ำโคลัมเบียจะเข้าไปเกาะติดอยู่กับวัตถุแขวนลอยที่อยู่ในน้ำภายใน 10-60 ชั่วโมง แล้วก็จะเกิดการตกตะกอนลงสู่พื้นของแหล่งน้ำในเวลาต่อมา

น้ำเสียจากลำห้วยปลัดแก้วนี้มีปริมาณสารอินทรีย์สูงเนื่องจากน้ำเสียส่วนใหญ่จะมาจากกิจกรรมชุมชน ทำให้สภาวะพีเอชในน้ำอยู่ในช่วงที่เป็นกรดซึ่งเมื่อมีการใช้หินปูนซึ่งมีองค์ประกอบของ $(Ca(MgCO_3)_2)$ ในการบำบัดน้ำเสียนี้ ซึ่งเมื่อเกิดการละลายของหินปูนจะสามารถช่วยปรับพีเอชให้เพิ่มขึ้นได้ ซึ่งจากผลการตรวจวัดจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชส่วนใหญ่มีค่าเพิ่มขึ้นในแต่ละพื้นที่ โดยเป็นการช่วยในการตกตะกอนของโลหะหนักได้และปรับพีเอชของน้ำให้เป็นกลางได้ ซึ่งตามมาตรฐานน้ำทิ้งแล้วพบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้วก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำต้องมีการปรับพีเอชให้เหมาะสมที่ประมาณ 5 – 9 โดยจากผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำบริเวณฝายหินเรียงพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงดังกล่าว ซึ่งสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้ (เกษม, 2541)

สำหรับการดูดซับของโลหะหนักบริเวณพื้นผิวของตัวกลางคือ หินปูน มีความเกี่ยวข้องกับพีเอชคือ พีเอชที่ทำให้ประจุบนพื้นผิวของตัวดูดซับมีค่าเท่ากับศูนย์ (pH_0) มีค่าอยู่ที่ 8.0 – 9.5 ซึ่งที่พีเอชที่น้อยกว่า pH_0 พื้นผิวดูดซับมีบริเวณที่มีประจุบวกมากกว่าประจุลบทำให้เกิดการดูดซับประจุลบได้

มากขึ้น โดยเกิดจากที่พื้นผิวมีประจุบวกของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} มากขึ้นทำให้สามารถจับกับสารหนูในรูปของ AsO_4^{3-} ไว้ที่ผิววัตถุดูดซับได้ และมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 ออกสู่น้ำทำให้โลหะหนักในรูปของ Pb^{2+} และ Hg^{2+} สามารถจับกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตกตะกอนลงสู่พื้นท้องน้ำได้ (นิพนธ์ และคณิตา, 2550)

ตารางที่ 10 ดัชนีคุณภาพน้ำบริเวณพื้นที่ทดลอง เก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 วันที่ 21 มกราคม 2551

พื้นที่ ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ดัชนีคุณภาพน้ำภาคสนาม					
		Temp.(°C)	pH	DO(mg/l)	Salinity(ppt)	EC(µs)	TDS(ppm)
ศูนย์ สุขภาพ ชุมชน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	25.5	6.92	0.06	0.3	531	253
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	25.5	6.99	0.08	0.3	535	255
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	25.5	7.00	0.04	0.3	536	256
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	25.5	6.96	0.06	0.3	543	260
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	25.6	6.99	0.04	0.3	545	260
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	25.9	6.97	0.27	0.3	545	261
ที่ทำการ เทศบาล	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	26.1	6.53	0.07	0.3	625	296
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	26.0	6.59	0.06	0.3	622	299
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	25.6	6.49	0.08	0.3	628	299
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	25.9	6.56	0.07	0.3	633	301
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	25.9	6.56	0.05	0.3	638	303
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	25.5	6.57	0.18	0.3	642	306
โรงงาน ขนมจัน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	26.6	6.61	0.08	0.3	915	435
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	26.4	6.61	0.08	0.4	874	422
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	26.1	6.56	0.08	0.4	847	402
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	26.2	6.60	0.08	0.4	812	384
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	26.2	6.61	0.08	0.3	788	376
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	26.1	6.60	0.12	0.4	781	371

ตารางที่ 11 ดัชนีคุณภาพน้ำบริเวณพื้นที่ทดลอง เก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551

พื้นที่ ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ดัชนีคุณภาพน้ำภาคสนาม					
		Temp.(°C)	pH	DO(mg/l)	Salinity(ppt)	EC(µs)	TDS(ppm)
ศูนย์ สุขภาพ ชุมชน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	25.5	6.74	0.57	0.3	670	322
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	25.5	6.76	0.62	0.3	665	320
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	25.5	6.75	0.57	0.3	667	319
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	25.5	6.57	0.16	0.3	667	321
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	25.6	6.67	0.06	0.3	665	319
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	25.6	6.73	0.61	0.3	666	319
ที่ทำการ เทศบาล	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	26.2	6.45	0.14	0.4	769	366
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	26.0	6.49	0.19	0.4	769	364
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	26.1	6.47	0.16	0.4	765	363
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	26.2	6.46	0.25	0.4	764	364
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	26.2	6.44	0.13	0.4	761	362
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	26.2	6.48	0.40	0.4	760	362
โรงงาน ขนมจีน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	27.2	6.32	0.72	0.8	1657	782
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	27.0	6.37	0.60	0.8	1637	780
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	26.7	6.34	0.30	0.8	1589	767
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	26.8	6.34	0.47	0.8	1587	763
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	26.6	6.34	0.39	0.8	1579	755
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	26.7	6.34	0.46	0.8	1548	761

ตารางที่ 12 ดัชนีคุณภาพน้ำบริเวณพื้นที่ทดลอง เก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2551

พื้นที่ ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ดัชนีคุณภาพน้ำภาคสนาม					
		Temp.(°C)	pH	DO(mg/l)	Salinity(ppt)	EC(µs)	TDS(ppm)
ศูนย์ สุขภาพ ชุมชน	ฝ่ายที่ 1 ด้านหน้า	25.6	6.51	0.10	0.3	681	326
	ฝ่ายที่ 1 ด้านหลัง	25.5	6.51	0.14	0.3	683	327
	ฝ่ายที่ 2 ด้านหน้า	25.5	6.51	0.09	0.3	681	327
	ฝ่ายที่ 2 ด้านหลัง	25.5	6.50	0.14	0.3	680	326
	ฝ่ายที่ 3 ด้านหน้า	25.5	6.50	0.12	0.3	678	326
	ฝ่ายที่ 3 ด้านหลัง	25.6	6.49	0.33	0.3	680	326
ที่ทำการ เทศบาล	ฝ่ายที่ 1 ด้านหน้า	26.3	6.69	0.13	0.3	624	294
	ฝ่ายที่ 1 ด้านหลัง	26.3	6.72	0.12	0.3	623	294
	ฝ่ายที่ 2 ด้านหน้า	26.3	6.71	0.07	0.3	624	294
	ฝ่ายที่ 2 ด้านหลัง	26.4	6.71	0.11	0.3	623	294
	ฝ่ายที่ 3 ด้านหน้า	26.3	6.72	0.06	0.3	623	294
	ฝ่ายที่ 3 ด้านหลัง	26.2	6.72	0.13	0.3	624	295
โรงงาน ขนมจีน	ฝ่ายที่ 1 ด้านหน้า	26.4	6.21	0.15	0.3	1253	601
	ฝ่ายที่ 1 ด้านหลัง	26.3	6.20	0.25	0.3	1264	605
	ฝ่ายที่ 2 ด้านหน้า	26.2	6.23	0.16	0.3	1259	606
	ฝ่ายที่ 2 ด้านหลัง	26.2	6.23	0.08	0.3	1261	607
	ฝ่ายที่ 3 ด้านหน้า	26.1	6.25	0.08	0.3	1256	603
	ฝ่ายที่ 3 ด้านหลัง	26.1	6.21	0.15	0.3	1248	602

4. ประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดตะกั่ว

4.1 ปริมาณตะกั่วภายหลังการบำบัด

จากการใช้น้ำเสียจากชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอด ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ฝายหินเรียง ในลักษณะระบายน้ำเสียไหลผ่านฝายทางด้านหน้าและออกทางด้านหลัง พบว่าปริมาณตะกั่วภายหลังการบำบัดในชุดทดลองต่างๆ (ตารางที่ 13 , ภาพที่ 15 - 17) สามารถอธิบายได้ดังนี้

พื้นที่ทดลองบริเวณศูนย์สุขภาพชุมชนซึ่งเป็นจุดแรกที่ได้รับน้ำเสียจากชุมชนเข้าสู่การบำบัด โดยมีผลการศึกษาของ ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียที่จุดเก็บตัวอย่างหน้าและหลังฝายทั้ง 3 ฝายในการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้ง สามารถแสดงค่าได้ดังนี้ ฝายที่ 1 ปริมาณตะกั่วที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.015 – 0.023 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.019 ± 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณตะกั่วที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.012 – 0.020 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.017 ± 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร ในฝายที่ 2 ปริมาณตะกั่วที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.014 - 0.021 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.017 ± 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณตะกั่วที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.013 – 0.020 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.016 ± 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับฝายที่ 3 ปริมาณตะกั่วที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.015 – 0.021 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.017 ± 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณตะกั่วที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.012 – 0.021 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.017 ± 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำปริมาณค่าเฉลี่ยของตะกั่วที่เก็บตัวอย่างแต่ละฝายมาเปรียบเทียบกันพบว่าปริมาณของตะกั่วพบมากที่สุดที่ฝายที่ 1 บริเวณด้านหน้า สำหรับปริมาณตะกั่วที่น้อยที่สุดพบที่หลังฝายที่ 2 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้ทั้งหมดกับพื้นที่ทดลองอื่นๆ พบว่า ปริมาณตะกั่วของพื้นที่ทดลองบริเวณศูนย์สุขภาพชุมชนโดยส่วนใหญ่แล้วค่าที่ได้ใกล้เคียงกับพื้นที่ทดลองอื่นๆ ยกเว้นในพื้นที่ทดลองบริเวณที่ทำการเทศบาลที่มีค่าน้อยกว่าในบางฝาย

พื้นที่ทดลองบริเวณที่ทำการเทศบาล ใช้น้ำเสียบางส่วนจากอาคารราชการ ถนนในบริเวณใกล้เคียง โดยมีผลการศึกษาของปริมาณตะกั่วในน้ำเสียที่จุดเก็บตัวอย่างหน้าและหลังฝายทั้ง 3 ฝายในการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้ง สามารถแสดงค่าได้ดังนี้ ฝายที่ 1 ปริมาณตะกั่วที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.016 – 0.019 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.017 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณตะกั่วที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.012 – 0.022 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.017 ± 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ในฝายที่ 2 ปริมาณตะกั่วที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.018 – 0.039 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ

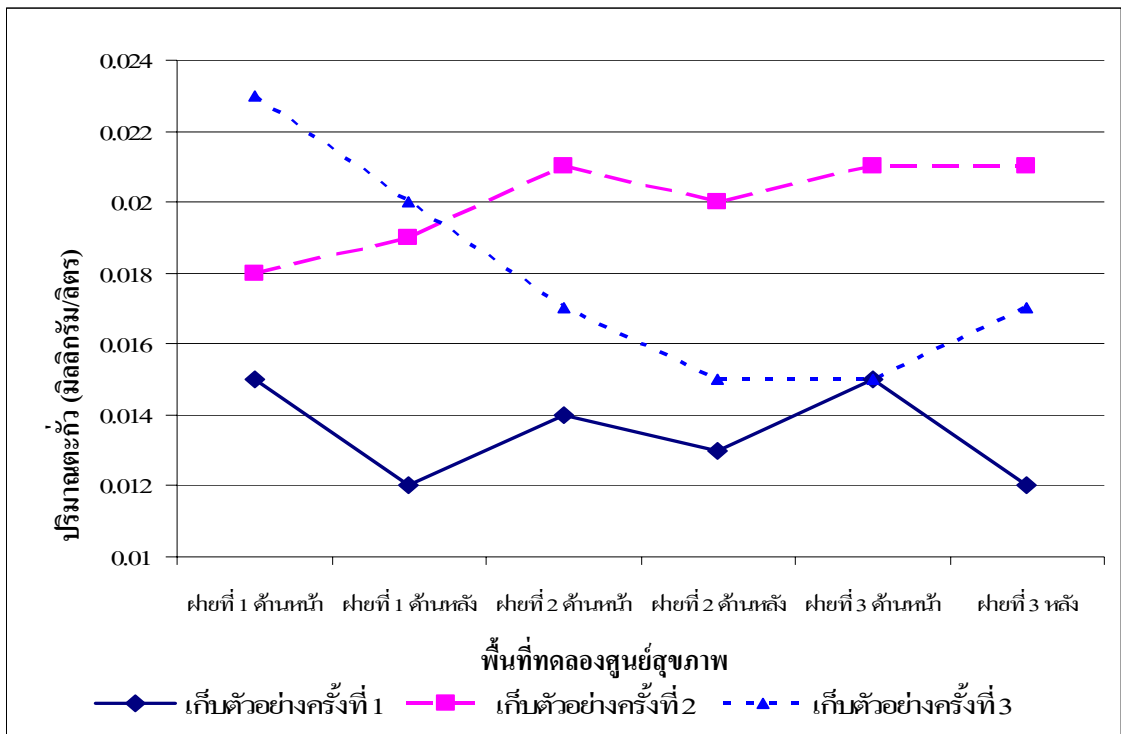
0.027 ± 0.011 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณตะกั่วที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.017 - 0.020$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.018 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับฝายที่ 3 ปริมาณตะกั่วที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.018 - 0.046$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.028 ± 0.015 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณตะกั่วที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.017 - 0.022$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.019 ± 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำปริมาณค่าเฉลี่ยของตะกั่วที่จุดเก็บตัวอย่างแต่ละฝายมาเปรียบเทียบพบว่าปริมาณของตะกั่วมากที่สุด ในฝายที่ 3 บริเวณด้านหน้า สำหรับปริมาณตะกั่วน้อยที่สุดพบบริเวณหลังฝายที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้ทั้งหมดกับพื้นที่ทดลองอื่นๆ พบว่า ปริมาณตะกั่วของพื้นที่ทดลองที่ทำการทดสอบในการเก็บตัวอย่างทุกครั้งค่าที่ได้มีค่าสูงกว่าพื้นที่ทดลองอื่นๆ

พื้นที่ทดลองบริเวณโรงงานขนมจันรับน้ำเสียส่วนใหญ่จากโรงผลิตขนมจัน ชุมชนในพื้นที่ใกล้เคียง โดยมีผลการศึกษาของปริมาณตะกั่วในน้ำเสียที่จุดเก็บตัวอย่างหน้าและหลังฝายทั้ง 3 ฝายในการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้ง สามารถแสดงค่าได้ดังนี้ ฝายที่ 1 ปริมาณตะกั่วที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.015 - 0.019$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.017 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตรและปริมาณตะกั่วที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.014 - 0.020$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.017 ± 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร ในฝายที่ 2 ปริมาณตะกั่วที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.017 - 0.026$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.020 ± 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณตะกั่วที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.014 - 0.017$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.016 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตรสำหรับฝายที่ 3 ปริมาณตะกั่วที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.015 - 0.021$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.018 ± 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตรและปริมาณตะกั่วที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.012 - 0.018$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.015 ± 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำปริมาณค่าเฉลี่ยของตะกั่วที่จุดเก็บตัวอย่างแต่ละฝายมาเปรียบเทียบพบว่าปริมาณของตะกั่วมากที่สุด ในฝายที่ 2 ด้านหน้าสำหรับปริมาณตะกั่วน้อยที่สุดพบบริเวณหลังฝายที่ 3 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้ทั้งหมดกับพื้นที่ทดลองอื่นๆ พบว่า ปริมาณตะกั่วของพื้นที่ทดลองบริเวณ โรงงานขนมจัน โดยส่วนใหญ่แล้วค่าที่ได้ใกล้เคียงกับพื้นที่ทดลองอื่นๆ ยกเว้นในพื้นที่ทดลองบริเวณที่ทำการทดสอบที่มีค่าน้อยกว่าในบางฝาย

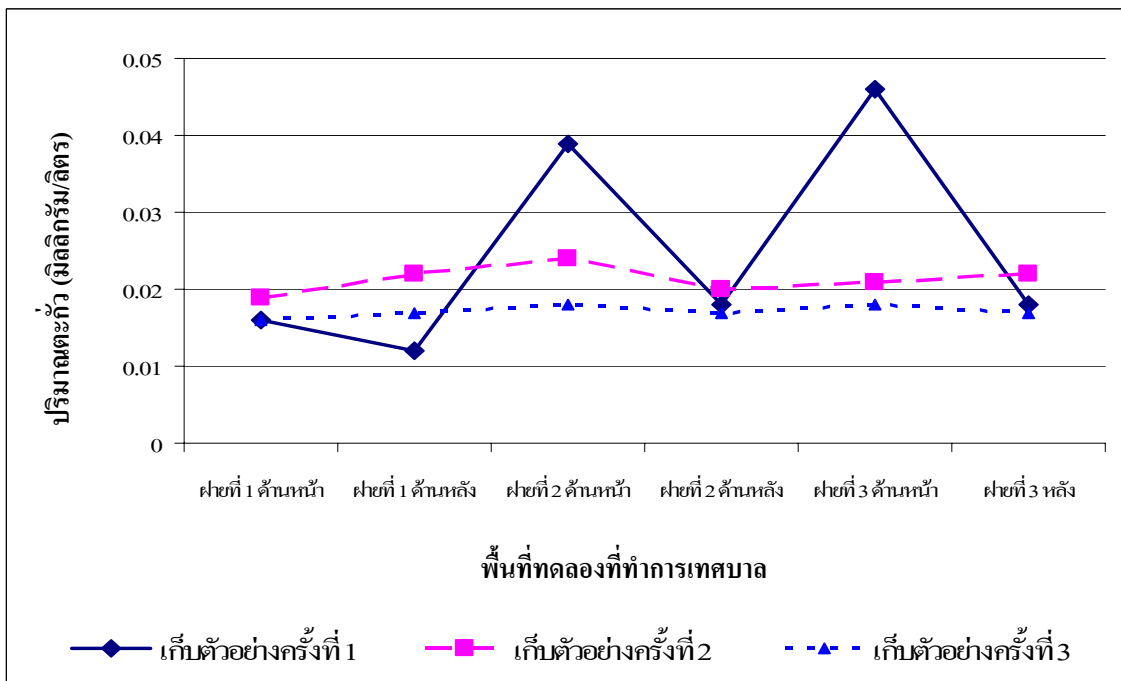
ตารางที่ 13 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากการบำบัดโดยใช้ฝายหินเรียง ($\times 10^{-3}$ มิลลิกรัม/ลิตร)

พื้นที่ ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณที่พบในการเก็บตัวอย่างครั้ง			ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความผัน แปร (ร้อยละ)
		1	2	3			
ศูนย์ สุขภาพ ชุมชน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	15.0	18.0	23.0	19.0	4.0	21
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	12.0	19.0	20.0	17.0	4.0	24
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	14.0	21.0	17.0	17.0	4.0	24
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	13.0	20.0	15.0	16.0	4.0	25
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	15.0	21.0	15.0	17.0	3.0	18
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	12.0	21.0	17.0	17.0	5.0	29
ที่ทำการ เทศบาล	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	16.0	19.0	16.0	34.0	2.0	6
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	12.0	22.0	17.0	17.0	5.0	29
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	39.0	24.0	18.0	27.0	11.0	41
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	18.0	20.0	17.0	18.0	2.0	11
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	46.0	21.0	18.0	28.0	15.0	54
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	18.0	22.0	17.0	19.0	3.0	16
โรงงาน ขนมจีน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	15.0	19.0	17.0	17.0	2.0	12
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	14.0	18.0	20.0	17.0	3.0	18
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	17.0	17.0	26.0	20.0	5.0	25
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	14.0	17.0	16.0	16.0	2.0	13
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	15.0	21.0	18.0	18.0	3.0	17
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	12.0	18.0	16.0	15.0	3.0	20

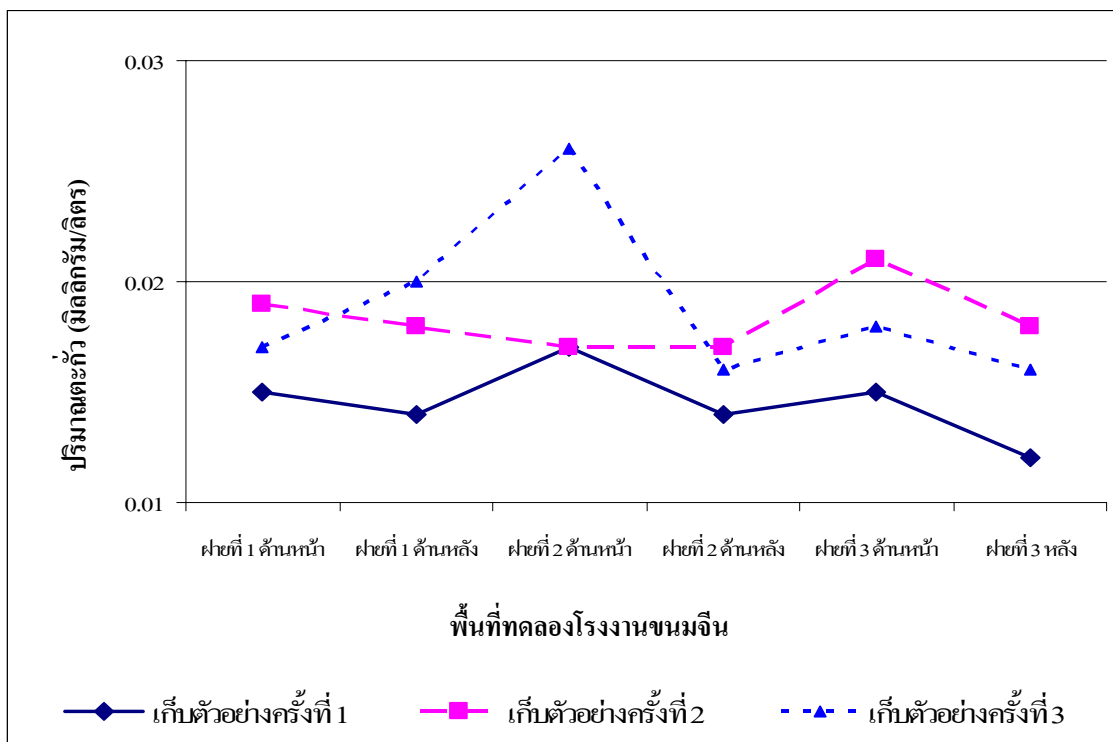
หมายเหตุ : * ครั้งที่ 1 วันที่ 21 มกราคม 2551
 ครั้งที่ 2 วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551
 ครั้งที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2551



ภาพที่ 15 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสี้ยวตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝ่ายของพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน



ภาพที่ 16 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสี้ยวตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝ่ายของพื้นที่ทำการเทศบาล



ภาพที่ 17 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสี้ยวตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝ่ายของพื้นที่โรงงานขนมจลิน

4.2 ปริมาณตะกั่วที่ลดลงและประสิทธิภาพจากการบำบัดตะกั่ว

จากการทดลองบำบัดตะกั่วในน้ำเสี้ยวชุมชนเทศบาลห้วยยอดโดยการใส่ฝายหินเรียง ทำให้ทราบถึงปริมาณตะกั่วหลังจากบำบัดและสามารถนำค่าที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบปริมาณตะกั่วที่มีอยู่ในน้ำเสี้ยวก่อนเข้าฝาย (ตารางที่ 14 , ภาพที่ 18 - 20) ทำให้สามารถศึกษาถึงประสิทธิภาพที่ได้จากการบำบัดตะกั่วในน้ำเสี้ยวชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอดได้ โดยเมื่อวิเคราะห์ผลออกมาแล้วพบว่าผลที่ได้จากการบำบัดตะกั่วในพื้นที่ทดลองต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

พื้นที่ทดลองบริเวณศูนย์สุขภาพชุมชน จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้งตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าปริมาณตะกั่วในน้ำเสี้ยวหลังจากการบำบัดมีปริมาณการลดลงและประสิทธิภาพในการบำบัดของแต่ละฝ่ายดังนี้ ฝ่ายที่ 1 มีปริมาณตะกั่วที่ลดลงอยู่ในช่วง $-0.003 - 0.003$ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.002 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ $-5.55 - 20.00$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.16 ± 13.21 ฝ่ายที่ 2 มีปริมาณตะกั่วที่ลดลงอยู่ในช่วง $0.001 - 0.002$ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.001 ± 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่

ในช่วงร้อยละ 4.76 – 11.76 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.89 ± 3.56 ฝ่ายที่ 3 มีปริมาณตะกั่วที่ลดลงอยู่ในช่วง $-0.002 - 0.003$ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.000 ± 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ $-13.33 - 20.00$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.22 ± 16.78 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วเฉลี่ยในทุกฝ่ายที่ทำการทดลองในพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชนพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วสามารถบำบัดได้สูงที่สุดในฝ่ายที่ 1 สำหรับประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ต่ำสุดอยู่ในฝ่ายที่ 3 และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดทั้งหมดพบว่าในฝ่ายที่ 1 และฝ่ายที่ 3 ของการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงที่สุด สำหรับประสิทธิภาพการบำบัดที่ต่ำที่สุดพบในฝ่ายที่ 3 ของการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 3 ซึ่งทำให้เห็นได้ว่าการบำบัดตะกั่วของฝ่ายต่างๆ นั้น ประสิทธิภาพการบำบัดจะให้ผลดีที่สุดในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และจะลดประสิทธิภาพลงในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ตามมา โดยเมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดที่ได้ในแต่ละฝ่ายมาเปรียบเทียบกับฝ่ายของพื้นที่ทดลองอื่นๆ ตลอดการทดลองพบว่าพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชนมี ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัดน้อยกว่าพื้นที่อื่นๆ

พื้นที่ทดลองที่ทำการทดสอบ จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้งตลอดระยะเวลาการทดลองพบว่าปริมาณตะกั่วในน้ำเสียภายหลังจากการบำบัดมีปริมาณการลดลงและประสิทธิภาพในการบำบัดของแต่ละฝ่ายดังนี้ ฝ่ายที่ 1 มีปริมาณตะกั่วที่ลดลงอยู่ในช่วง $-0.003 - 0.004$ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.000 ± 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ $-15.79 - 25.00$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.99 ± 21.34 ฝ่ายที่ 2 มีปริมาณตะกั่วที่ลดลงอยู่ในช่วง $0.001 - 0.021$ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.009 ± 0.011 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ $5.56 - 53.85$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.36 ± 25.29 ฝ่ายที่ 3 มีปริมาณตะกั่วที่ลดลงอยู่ในช่วง $-0.001 - 0.028$ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.009 ± 0.016 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ $-4.76 - 60.87$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.56 ± 35.29 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วเฉลี่ยในทุกฝ่ายที่ทำการทดลองในพื้นที่ทดลองที่ทำการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดในฝ่ายที่ 2 สำหรับประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดอยู่ในฝ่ายที่ 1 และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดทั้งหมดพบว่าในฝ่ายที่ 3 ของการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด สำหรับประสิทธิภาพที่ต่ำที่สุดอยู่ในฝ่ายที่ 1 ของการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 โดยทำให้เห็นได้ว่าการบำบัดตะกั่วของฝ่ายต่างๆ นั้นประสิทธิภาพการบำบัดจะให้ผลดีที่สุดในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และจะลดประสิทธิภาพลงในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ตามมาเช่นเดียวกับพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชน และเมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดที่ได้ในแต่ละ

ฝ่ายมาเปรียบเทียบกับฝ่ายของพื้นที่ทดลองอื่นๆ ตลอดจนการทดลองพบว่าพื้นที่ทดลองที่ทำการทดสอบมีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัดสูงที่สุด

พื้นที่ทดลองโรงงานขนมจิ้น จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้งตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าปริมาณตะกั่วในน้ำเสียภายหลังจากการบำบัดมีปริมาณการลดลงและประสิทธิภาพในการบำบัดของแต่ละฝ่ายดังนี้ ฝ่ายที่ 1 มีปริมาณตะกั่วที่ลดลงอยู่ในช่วง $-0.003 - 0.001$ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.000 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ $-17.65 - 6.67$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -1.91 ± 13.65 ฝ่ายที่ 2 มีปริมาณตะกั่วที่ลดลงอยู่ในช่วง $0.000 - 0.010$ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.004 ± 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ $0.00 - 38.46$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.70 ± 19.25 ฝ่ายที่ 3 มีปริมาณตะกั่วที่ลดลงอยู่ในช่วง $0.002 - 0.003$ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.003 ± 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ $11.11 - 20.00$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.13 ± 4.50 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วเฉลี่ยในทุกฝ่ายที่ทำการทดลองในพื้นที่ทดลองโรงงานขนมจิ้นพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดในฝ่ายที่ 2 สำหรับประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดอยู่ในฝ่ายที่ 1 และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดทั้งหมดพบว่าในฝ่ายที่ 2 ของการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 3 มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดสำหรับประสิทธิภาพที่ต่ำที่สุดอยู่ในฝ่ายที่ 1 ของการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 ซึ่งสามารถทำให้เห็นได้ว่าการบำบัดตะกั่วของฝ่ายต่างๆ นั้นประสิทธิภาพการบำบัดในการเก็บตัวอย่างครั้งต่างๆ มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากประสิทธิภาพการบำบัดในแต่ละครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่างของแต่ละฝ่ายทำให้เห็นได้ว่าในทุกฝ่ายที่ทำการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 1 จะมีประสิทธิภาพที่เป็นบวกและจะมีประสิทธิภาพที่เริ่มลดลงในครั้งต่อไป ซึ่งอาจจะมียางค่าที่ได้มีความแตกต่างกันไป และเมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละฝ่ายมาเปรียบเทียบกับฝ่ายของพื้นที่ทดลองอื่นๆ ตลอดจนการทดลองพบว่าพื้นที่ทดลองโรงงานขนมจิ้นมีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัดสูงรองลงมาจากพื้นที่ทดลองที่ทำการทดสอบ

สรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วเมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วของแต่ละฝ่ายในพื้นที่ทดลองต่างๆ จากค่าเฉลี่ยที่ได้ทำให้เห็นได้ว่าทุกฝ่ายมีประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเห็นได้ว่าประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นจากฝ่ายที่ 1 ถึงฝ่ายที่ 3 ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดในฝ่ายที่ 3 ของทุกพื้นที่ที่มีความสามารถในการบำบัดได้ดีที่สุด สำหรับพื้นที่ทดลองที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุดคือ พื้นที่ทดลองที่ทำการทดสอบเนื่องจากมีความลาดชันของพื้นที่น้อยกว่าพื้นที่อื่นทำให้การไหลของน้ำผ่านฝายเกิดขึ้นช้ากว่าพื้นที่อื่นๆ ทำให้การสัมผัสของ

โลหะหนักกับตะกอนดินและตัวฝายเกิดขึ้นนานขึ้นทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นและเมื่อพิจารณาจากระยะเวลาในการทดลองหรือครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่างทำให้ได้ว่าการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ของทุกพื้นที่ทดลองมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด โดยประสิทธิภาพที่ลดลง เกิดจากการอุดตันของฝายที่เพิ่มขึ้น การไหลผ่านของน้ำผ่านตัวฝายจะรวดเร็วขึ้นส่งผลให้การสัมผัสและการตกตะกอนของโลหะเกิดขึ้นน้อยลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดน้อยลงตามระยะเวลา สำหรับปริมาณการตรวจวัดปริมาณตะกั่วที่พบในทุกพื้นที่ทดลองพบว่ามีความตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่กำหนดไว้ที่ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทำให้น้ำเสียที่ได้รับการบำบัดจากฝายหินเรียงสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

ตารางที่ 14 ปริมาณการลดลง (ก) และประสิทธิภาพการบำบัด (ข) ตะกั่วหลังจากเข้าสู่ฝายหินเรียงตามจุดเก็บตัวอย่าง ในพื้นที่ทดลอง

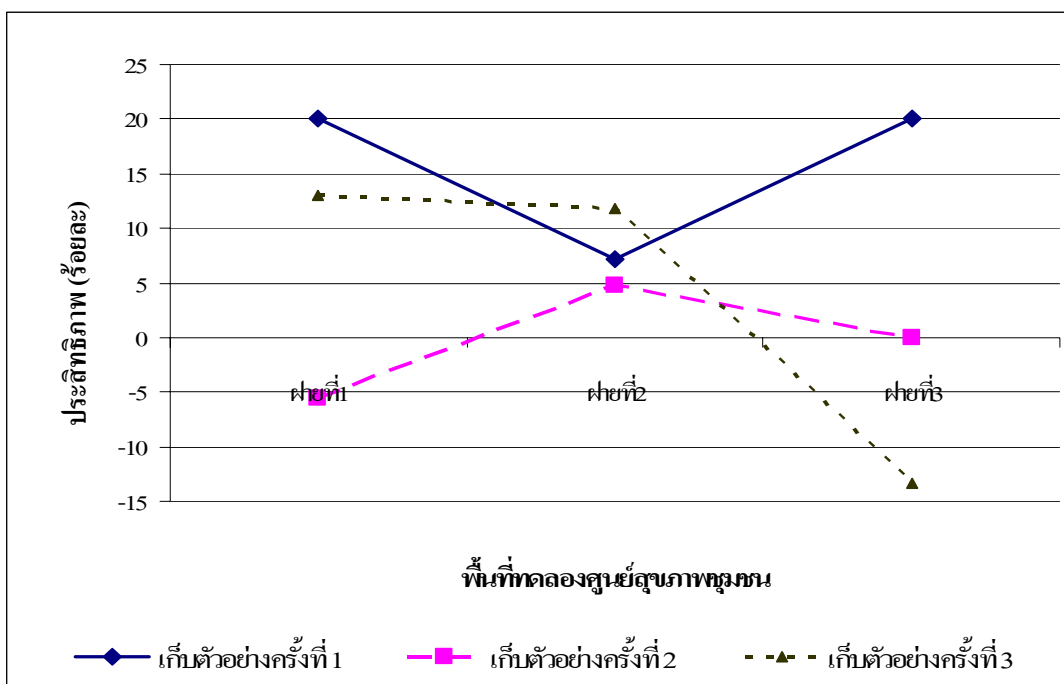
(ก) ปริมาณการลดลงของตะกั่วในการทดลอง

พื้นที่ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณที่ลดลงในการเก็บตัวอย่างครั้งที่			เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
		(x 10 ⁻³ มิลลิกรัม/ลิตร) *				
		1	2	3		
ศูนย์สุขภาพชุมชน	ฝายที่ 1	3.0	-1.0	3.0	2.0	2.0
	ฝายที่ 2	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
	ฝายที่ 3	3.0	0.0	-2.0	0.0	3.0
ที่ทำกรเทศบาล	ฝายที่ 1	4.0	-3.0	-1.0	0.0	4.0
	ฝายที่ 2	21.0	4.0	1.0	9.0	11.0
	ฝายที่ 3	28.0	-1.0	1.0	9.0	16.0
โรงงานขนมจีน	ฝายที่ 1	1.0	1.0	-3.0	0.0	2.0
	ฝายที่ 2	3.0	0.0	10.0	4.0	5.0
	ฝายที่ 3	3.0	3.0	2.0	3.0	1.0

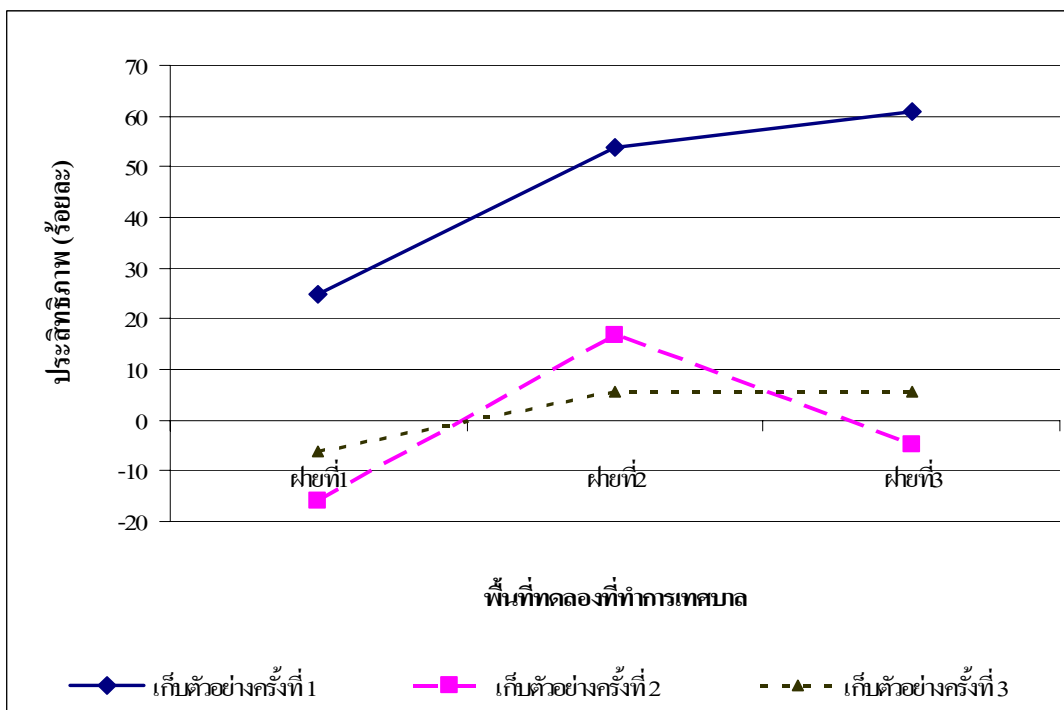
(ข) ประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในการทดลอง

พื้นที่ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ประสิทธิภาพการบำบัดในการเก็บตัวอย่างครั้งที่			เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
		ที่(ร้อยละ) *				
		1	2	3		
ศูนย์สุขภาพชุมชน	ฝายที่ 1	20.00	-5.55	13.04	9.16	13.21
	ฝายที่ 2	7.14	4.76	11.76	7.89	3.56
	ฝายที่ 3	20.00	0.00	-13.33	2.22	16.78
ที่ทำกรเทศบาล	ฝายที่ 1	25.00	-15.79	-6.25	0.99	21.34
	ฝายที่ 2	53.85	16.67	5.56	25.36	25.29
	ฝายที่ 3	60.87	-4.76	5.56	20.56	35.29
โรงงานขนมจีน	ฝายที่ 1	6.67	5.26	-17.65	-1.91	13.65
	ฝายที่ 2	17.65	0.00	38.46	18.70	19.25
	ฝายที่ 3	20.00	14.29	11.11	15.13	4.50

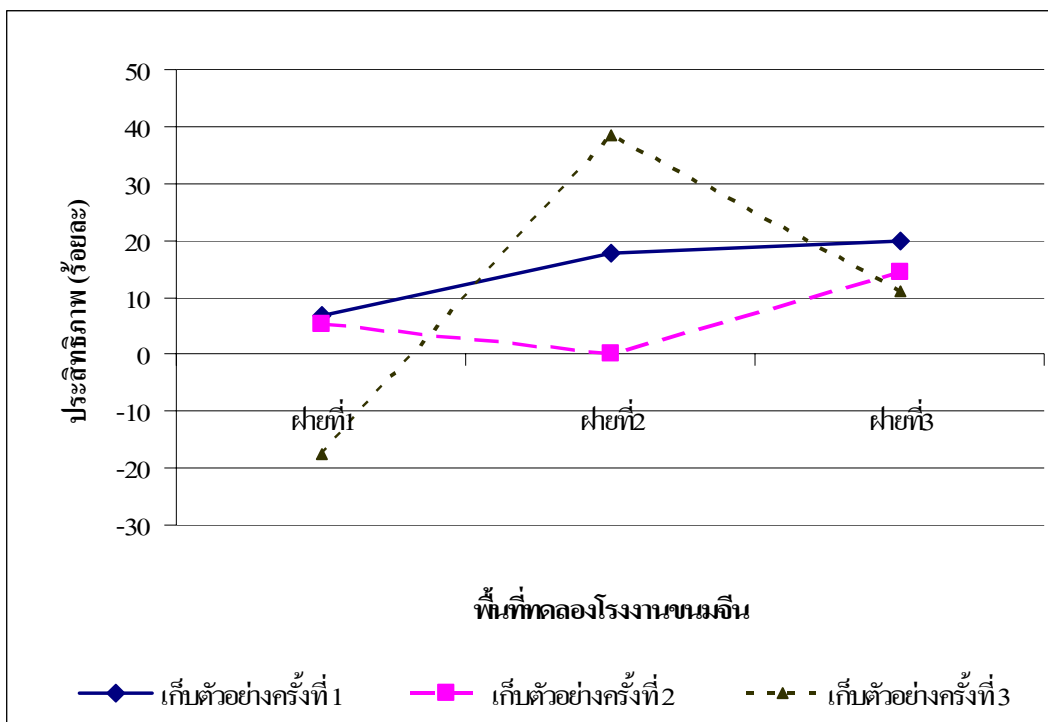
หมายเหตุ : * ครั้งที่ 1 วันที่ 21 มกราคม 2551 , ครั้งที่ 2 วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551, ครั้งที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2551



ภาพที่ 18 ประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียงในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน



ภาพที่ 19 ประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียงในพื้นที่ที่ทำการเทศบาล



ภาพที่ 20 ประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียงในพื้นที่โรงงานขนมเงิน

4.3 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณตะกั่วบริเวณหน้าและหลังฝายทุกจุด และประสิทธิภาพที่ได้ของแต่ละฝาย แต่ละพื้นที่ทดลอง และระหว่างครั้งทดลองที่มีต่อการบำบัดตะกั่ว

ศึกษาปริมาณความแตกต่างของตะกั่วระหว่างหน้าและหลังฝายในทุกพื้นที่โดยใช้วิธี pair-sample t - test สำหรับประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในน้ำเสียชุมชน โดยการใช้ฝายหินเรียงในการเก็บตัวอย่างแต่ละฝาย โดยนำผลที่ได้มาทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพความแตกต่างระหว่างฝาย ระหว่างพื้นที่ และระหว่างครั้งในการเก็บตัวอย่างของแต่ละพื้นที่ทดลอง ต่อประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่ว โดยการทดสอบความแตกต่างในทุกค่าข้อมูลได้ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One - Way Analysis of Variance) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ $\alpha = 0.05$ และเมื่อพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจะทำการทดสอบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.05$ เพื่อทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในแต่ละฝาย ในแต่ละพื้นที่ และในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพที่ได้ ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่โดยการวิเคราะห์ทางสถิติดังนี้

1) การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหน้าและหลังฝาย

จากการทดสอบความแตกต่างระหว่างหน้าและหลังฝายในการบำบัดตะกั่วของฝายในทุกพื้นที่ โดยนำค่าปริมาณตะกั่วที่เข้าและออกจากฝายในตารางที่ 13 มาใช้ในการวิเคราะห์ โดยผลของการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 15 โดยมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถอธิบายได้ดังนี้

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 15 พบว่า ความแตกต่างของปริมาณตะกั่วหน้าฝายกับปริมาณตะกั่วหลังฝายในแต่ละพื้นที่ทดลองไม่มีความแตกต่างที่นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.05$ เนื่องจากปริมาณตะกั่วทั้งหน้าและหลังฝายแต่ละฝายมีปริมาณใกล้เคียงกันและค่าที่ตรวจวัดได้มีค่าน้อยทำให้ในการวิเคราะห์ส่งผลให้เห็นความแตกต่างของปริมาณตะกั่วหน้าและหลังฝายในแต่ละพื้นที่ได้ยาก ทำให้ค่าทางสถิติไม่มีความแตกต่างของปริมาณตะกั่วที่พบบริเวณฝายได้

ตารางที่ 15 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณตะกั่วบริเวณหน้าและหลังฝายของแต่ละพื้นที่ทดลอง โดยวิธีการเปรียบเทียบแบบ Paired – Samples t - test

พื้นที่ทดลอง	ครั้งที่	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	t	df	Sig. (2-tailed)
ศูนย์สุขภาพชุมชน	1	0.0023	0.0012	0.0007	3.500	2	0.073
	2	0.0000	0.0010	0.0006	0.000	2	1.000
	3	0.0010	0.0026	0.0015	0.655	2	0.580
ที่ทำการเทศบาล	1	0.0177	0.0123	0.0071	2.479	2	0.131
	2	0.0000	0.0036	0.0020	0.000	2	1.000
	3	0.0003	0.0012	0.0007	0.500	2	0.667
โรงงานขนมจีน	1	0.0023	0.0012	0.0007	3.500	2	0.073
	2	0.0013	0.0015	0.0009	1.512	2	0.270
	3	0.0030	0.0066	0.0038	0.792	2	0.511

หมายเหตุ : ครั้งที่ 1 คือ วันที่ 21 มกราคม 2551 , ครั้งที่ 2 คือ วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551, ครั้งที่ 3 คือ วันที่ 10 มีนาคม 2551

2) การเปรียบเทียบปริมาณความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างฝายของแต่ละพื้นที่ทดลอง

จากการทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วที่พบในแต่ละฝายทั้ง 3 ฝายของแต่ละพื้นที่ทดลอง โดยนำค่าประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในแต่ละฝายจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้งในตารางที่ 14 มาใช้ในการวิเคราะห์ ผลจากการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในฝายที่ 1 ถึงฝายที่ 3 ของแต่ละพื้นที่ทดลองเพื่อที่จะทำให้ทราบถึงความแตกต่างของฝายแต่ละฝายที่ใช้ในการบำบัดตะกั่วว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยผลการทดสอบทางสถิติแสดงได้ในตารางผนวกที่ 10 ถึงตารางผนวกที่ 12 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วของแต่ละฝายในแต่ละพื้นที่ทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 16 ทำให้เห็นว่าความแตกต่างของประสิทธิภาพของฝายระหว่างฝายในแต่ละพื้นที่ทดลองไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่ว โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ในทุกพื้นที่ทดลอง โดยเมื่อนำค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วมาเปรียบเทียบกันระหว่างฝายในแต่ละพื้นที่ทดลองด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ DMRT ดังตารางที่ 17 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในแต่ละฝายของพื้นที่ทดลองพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน พื้นที่ที่ทำการเทศบาล และพื้นที่โรงงานขนมจินนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทำให้สรุปให้เห็นได้ว่าความแตกต่างของฝายแต่ละฝายไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วของแต่ละพื้นที่ทดลอง

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างฝายใน พื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน ถึงพื้นที่โรงงานขนมจิน

แหล่งความแปรปรวน	ศูนย์สุขภาพชุมชน	ที่ทำการเทศบาล	โรงงานขนมจิน
ระหว่างฝาย	0.262 ^{ns}	0.641 ^{ns}	1.891 ^{ns}

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ 17 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างฝ่ายของแต่ละพื้นที่ ภายหลังจากวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT

พื้นที่ทดลอง	ฝ่ายที่		
	1	2	3
พื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน	9.16 ^a	7.89 ^a	2.22 ^a
พื้นที่ทำการเทศบาล	0.99 ^a	25.36 ^a	20.56 ^a
พื้นที่โรงงานนมจีน	-1.91 ^a	18.70 ^a	15.13 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่มุมบนต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยของแต่ละฝ่ายในพื้นที่ทดลองเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3) การเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วระหว่างพื้นที่ในแต่ละฝ่าย

จากการทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในแต่ละพื้นที่ทดลองที่ฝ่ายทดลองเดียวกัน โดยนำค่าประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในแต่ละพื้นที่ทดลองจากการเก็บตัวอย่าง ทั้ง 3 ครั้ง โดยใช้ผลจากตารางที่ 14 มาใช้ในการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วของพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชน ที่ทำการเทศบาล และพื้นที่ทดลองโรงงานนมจีน ที่บริเวณฝ่ายตัวเดียวกัน เพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างของพื้นที่ทดลองว่ามีความแตกต่างของการบำบัดตะกั่วหรือไม่ โดยผลการทดสอบทางสถิติแสดงได้ในตารางผนวกที่ 19 ถึงตารางผนวกที่ 21 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วของแต่ละพื้นที่ทดลองที่ฝ่ายทดลองตัวเดียวกันแสดงไว้ในตารางที่ 18 ทำให้เห็นถึงความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในระหว่างพื้นที่ทดลองที่ทำการทดสอบในฝ่ายเดียวกัน ซึ่งพบว่าผลที่ได้ในแต่ละพื้นที่ทดลอง ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วที่ฝ่ายเดียวกันและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ในทุกฝ่ายทดลอง สำหรับการนำค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วมาเปรียบเทียบกันระหว่างพื้นที่ทดลองในแต่ละฝ่ายด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ DMRT ดัง

ตารางที่ 19 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในแต่ละพื้นที่ทดลองของฝายที่ 1, ฝายที่ 2 และฝายที่ 3 นั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทำให้สรุปให้เห็นได้ถึงความแตกต่างของพื้นที่ทดลองในแต่ละพื้นที่ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วที่ฝายเดียวกัน

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างพื้นที่ใน ฝายที่ 1 ถึง ฝายที่ 3

แหล่งความแปรปรวน	ฝายที่ 1	ฝายที่ 2	ฝายที่ 3
ระหว่างพื้นที่	0.364 ^{ns}	0.684 ^{ns}	0.516 ^{ns}

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ 19 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างพื้นที่ในแต่ละฝาย ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT

จุดเก็บตัวอย่าง	พื้นที่ทดลอง		
	ศูนย์สุขภาพชุมชน	ที่ทำการเทศบาล	โรงงานนมจิ้น
ฝายที่ 1	9.16 ^a	0.99 ^a	-1.91 ^a
ฝายที่ 2	7.89 ^a	25.36 ^a	18.70 ^a
ฝายที่ 3	2.22 ^a	20.56 ^a	15.13 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่มุมบนต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่ที่ฝายเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4) การเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วระหว่างครั้งในแต่ละพื้นที่การทดลอง

การทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วระหว่างครั้งในแต่ละพื้นที่ทดลองโดยวิเคราะห์ผลทีละพื้นที่ทดลองจากประสิทธิภาพของทั้ง 3 ฝ่ายโดยใช้ผลจากตารางที่ 14 มาใช้ในการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วของครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ที่พื้นที่ทดลองเดียวกัน เพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างของระยะเวลาในการทดลองว่ามีผลต่อการบำบัดตะกั่วของแต่ละพื้นที่หรือไม่ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 28 ถึงตารางผนวกที่ 30 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วของแต่ละพื้นที่ทดลองในตารางที่ 20 พบว่าความแตกต่างระหว่างครั้งมีผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วของพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาล มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สำหรับพื้นที่อื่นๆ นั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วระหว่างครั้งทำการเก็บตัวอย่างของแต่ละพื้นที่ทดลอง ภายหลังจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี DMRT ในตารางที่ 21 พบว่าพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชนและพื้นที่ทดลองโรงงานขนมจีนมีประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในแต่ละครั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาลประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยในครั้งที่ 1 จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ซึ่งจากค่าเฉลี่ยที่ได้ในครั้งที่ 1 จะมีประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วมากกว่าครั้งอื่นๆ ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่ครั้งที่ 1 ในพื้นที่ที่ทำการเทศบาลเป็นจุดที่มีพื้นที่ท้องน้ำเป็นดินเหนียวที่สามารถดูดซับโลหะหนักได้ดีกว่าจุดอื่นๆ อีกทั้งในครั้งที่ 1 นั้นบริเวณฝายหินเรียงยังไม่เกิดการอุดตันและการดูดซับที่มากจนไม่สามารถรับได้ทำให้ครั้งที่ 1 สามารถบำบัดได้ดีกว่าครั้งอื่น

จากที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นได้ว่า การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ฝายหินเรียง สามารถบำบัดตะกั่วได้ โดยปริมาณตะกั่วที่พบบริเวณหน้าและหลังฝายไม่มีความแตกต่างกัน ประสิทธิภาพการบำบัดที่ฝายต่างๆ ในแต่ละพื้นที่และประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละพื้นที่ทดลองที่ฝายเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันเช่นกัน สำหรับระยะเวลาในการทดลองมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดโดยในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 หรือสัปดาห์ที่ 4 ที่ทำการทดลองพบว่าในพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาลมีประสิทธิภาพที่แตกต่างจากครั้งอื่นๆ โดยเมื่อดูจากตารางที่ 12 และ 13 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าใน

การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ของพื้นที่ทดลองที่ทำการทดสอบมีประสิทธิภาพสูงสุดอย่างเห็นได้ชัด โดยสรุปได้ว่าความแตกต่างของฝายและพื้นที่ทดลองไม่มีผลต่อการบำบัดตะกั่ว แต่ระยะเวลาในการทดลองมีผลต่อการบำบัดตะกั่ว

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างครั้งในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน ถึงพื้นที่โรงงานขนมจีน

แหล่งความแปรปรวน	พื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน	พื้นที่ทำการทดสอบ	พื้นที่โรงงานขนมจีน
ระหว่างครั้ง	2.047 ^{ns}	9.526 [*]	0.172 ^{ns}

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ 21 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละครั้งของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วของแต่ละพื้นที่ ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT

พื้นที่ทดลอง	ครั้งที่		
	1	2	3
พื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน	15.71 ^a	-0.26 ^a	3.82 ^a
พื้นที่ทำการทดสอบ	46.48 ^b	-1.29 ^a	1.62 ^a
พื้นที่โรงงานขนมจีน	14.77 ^a	6.52 ^a	10.64 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่มุมบนต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยแต่ละพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

5. ประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดสารหนู

5.1 ปริมาณสารหนูภายหลังการบำบัด

จากการใช้น้ำเสียจากชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอด ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ฝายหินเรียง ในลักษณะระบายน้ำเสียแบบไหลผ่านฝายทางด้านหน้าและออกทางด้านหลัง พบว่าปริมาณสารหนูภายหลังการบำบัดในพื้นที่ทดลองต่างๆ (ตารางที่ 22 , ภาพที่ 21 - 23) สามารถอธิบายได้ดังนี้

พื้นที่ทดลองบริเวณศูนย์สุขภาพชุมชนซึ่งเป็นจุดแรกที่ได้รับน้ำเสียจากชุมชนเข้าสู่การบำบัด โดยมีผลการศึกษาของปริมาณสารหนูในน้ำเสียที่จุดเก็บตัวอย่างหน้าและหลังฝายทั้ง 3 ฝายในการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้ง สามารถแสดงค่าได้ดังนี้ ฝายที่ 1 ปริมาณสารหนูที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.003 – 0.016 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.008 ± 0.007 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสารหนูที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.007 – 0.029 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.017 ± 0.011 มิลลิกรัมต่อลิตร ในฝายที่ 2 ปริมาณสารหนูที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.014 -0.021 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.018 ± 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสารหนูที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.007 – 0.019 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.014 ± 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับฝายที่ 3 ปริมาณสารหนูที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.003 – 0.020 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.013 ± 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสารหนูที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.007 – 0.027 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.018 ± 0.010 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำปริมาณค่าเฉลี่ยของสารหนูที่เก็บตัวอย่างในแต่ละฝายมาเปรียบเทียบกันพบว่าปริมาณของสารหนูพบมากที่สุดที่ฝายที่ 2 บริเวณด้านหน้า และฝายที่ 3 บริเวณด้านหลังสำหรับปริมาณสารหนูน้อยที่สุดพบที่ด้านหน้าของฝายที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้ทั้งหมดกับพื้นที่ทดลองอื่นๆ พบว่า ปริมาณสารหนูของพื้นที่ทดลองบริเวณศูนย์สุขภาพชุมชน มีปริมาณสารหนูในแต่ละฝายเฉลี่ยสูงกว่าพื้นที่ทดลองอื่นๆ ทั้งหมด

พื้นที่ทดลองบริเวณที่ทำการเทศบาล ใช้น้ำเสียบางส่วนจากอาคารราชการ ถนนในบริเวณใกล้เคียง โดยมีผลการศึกษาของปริมาณสารหนูในน้ำเสียที่จุดเก็บตัวอย่างหน้าและหลังฝายทั้ง 3 ฝายในการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้ง สามารถแสดงค่าได้ดังนี้ ฝายที่ 1 ปริมาณสารหนูที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.001 – 0.007 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.004 ± 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสารหนูที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.002 – 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.005 ± 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร ในฝายที่ 2 ปริมาณสารหนูที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.002 -0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ

0.003 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสารหนูที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.001 - 0.008$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.004 ± 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับฝายที่ 3 ปริมาณสารหนูที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.002 - 0.007$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.005 ± 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสารหนูที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.001 - 0.004$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.003 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำปริมาณค่าเฉลี่ยของสารหนูที่เก็บตัวอย่างในแต่ละฝายมาเปรียบเทียบกันพบว่าปริมาณของสารหนูพบมากที่สุดที่ฝายที่ 1 และ 3 บริเวณด้านหน้า สำหรับปริมาณสารหนูน้อยที่สุดพบที่ด้านหน้าของฝายที่ 2 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้ทั้งหมดกับพื้นที่ทดลองอื่นๆ พบว่า ปริมาณสารหนูของพื้นที่ทดลองบริเวณที่ทำการเทศบาล มีปริมาณสารหนูในแต่ละฝายเฉลี่ยน้อยกว่าพื้นที่ทดลองอื่นๆ

พื้นที่ทดลองบริเวณโรงงานขนมจันรับน้ำเสียส่วนใหญ่จากโรงผลิตขนมจัน ชุมชนในพื้นที่ใกล้เคียง โดยมีผลการศึกษาระดับของปริมาณสารหนูในน้ำเสียที่จุดเก็บตัวอย่างหน้าและหลังฝายทั้ง 3 ฝายในการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้ง สามารถแสดงค่าได้ดังนี้ ฝายที่ 1 ปริมาณสารหนูที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.001 - 0.015$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.008 ± 0.007 มิลลิกรัมต่อลิตรและปริมาณสารหนูที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.002 - 0.011$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.006 ± 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ในฝายที่ 2 ปริมาณสารหนูที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.003 - 0.011$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.008 ± 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสารหนูที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.007 - 0.009$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.008 ± 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตรสำหรับฝายที่ 3 ปริมาณสารหนูที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.007 - 0.011$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.009 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตรและปริมาณสารหนูที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.004 - 0.011$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.007 ± 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำปริมาณค่าเฉลี่ยของสารหนูที่จุดเก็บตัวอย่างแต่ละฝายมาเปรียบเทียบพบว่าปริมาณของสารหนูมากที่สุดที่ฝายที่ 3 ด้านหน้าสำหรับปริมาณสารหนูน้อยที่สุดพบบริเวณหลังฝายที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้ทั้งหมดกับพื้นที่ทดลองอื่นๆ พบว่า ปริมาณสารหนูของพื้นที่ทดลองบริเวณโรงงานขนมจัน มีปริมาณสารหนูเฉลี่ยน้อยกว่าพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชนแต่มากกว่าพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาล

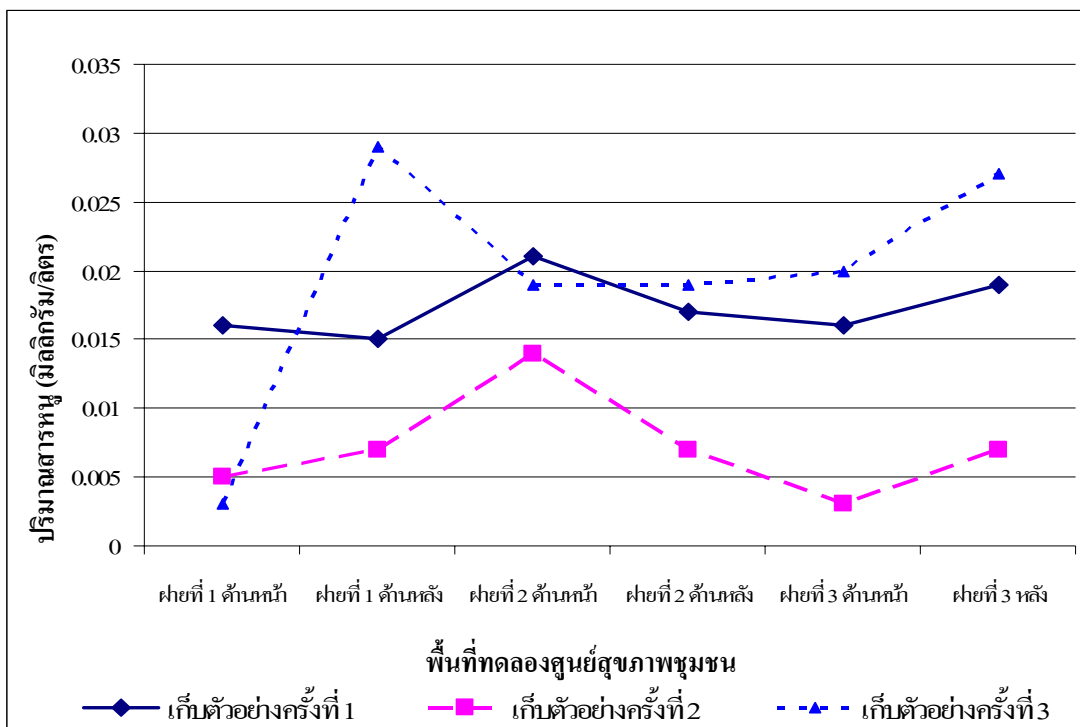
ตารางที่ 22 ปริมาณสารหนูในน้ำเสียจากการบำบัดโดยใช้ฝายหินเรียง ($\times 10^{-3}$ มิลลิกรัม/ลิตร)

พื้นที่ ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณที่พบในการเก็บตัวอย่างครั้ง			ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความผัน แปร (ร้อยละ)
		1	2	3			
ศูนย์ สุขภาพ ชุมชน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	16.0	5.0	3.0	8.0	7.0	88
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	15.0	7.0	29.0	17.0	11.0	65
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	21.0	14.0	19.0	18.0	4.0	22
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	17.0	7.0	19.0	14.0	6.0	43
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	16.0	3.0	20.0	13.0	9.0	69
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	19.0	7.0	27.0	18.0	10.0	56
ที่ทำการ เทศบาล	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	4.0	7.0	1.0	4.0	3.0	75
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	5.0	2.0	9.0	5.0	4.0	80
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	2.0	2.0	5.0	3.0	2.0	67
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	1.0	4.0	8.0	4.0	4.0	100
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	2.0	6.0	7.0	5.0	3.0	60
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	1.0	4.0	4.0	3.0	2.0	67
โรงงาน ขมจัน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	8.0	15.0	1.0	8.0	7.0	88
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	6.0	11.0	2.0	6.0	5.0	83
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	11.0	11.0	3.0	8.0	5.0	63
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	7.0	8.0	9.0	8.0	1.0	13
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	8.0	11.0	7.0	9.0	2.0	22
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	7.0	11.0	4.0	7.0	4.0	57

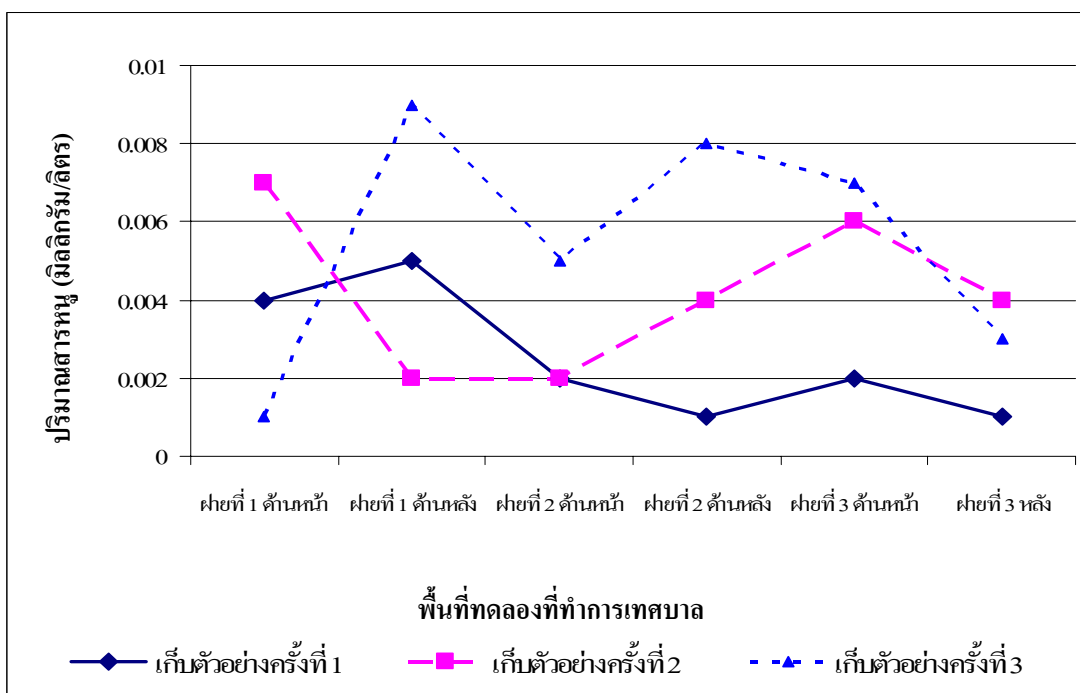
หมายเหตุ : * ครั้งที่ 1 วันที่ 21 มกราคม 2551

ครั้งที่ 2 วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551

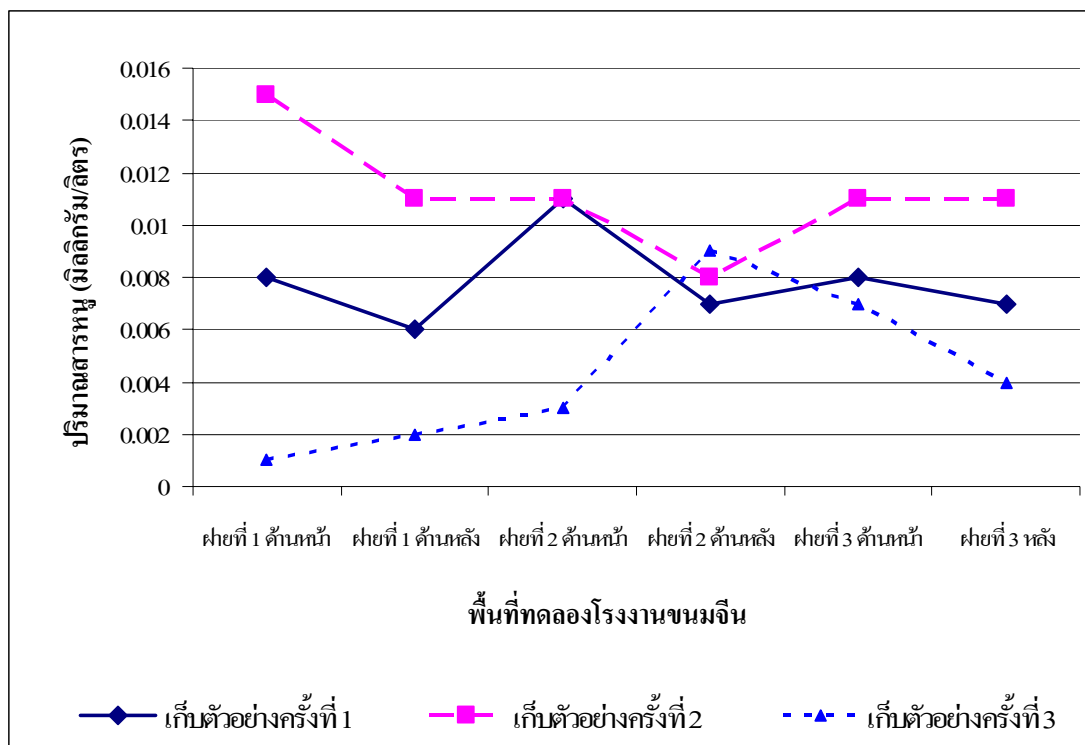
ครั้งที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2551



ภาพที่ 21 ปริมาณสารหนูในน้ำเสี้ยวตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝ่ายของพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน



ภาพที่ 22 ปริมาณสารหนูในน้ำเสี้ยวตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝ่ายของพื้นที่ทำการเทศบาล



ภาพที่ 23 ปริมาณสารหนูในน้ำเสียน้ำตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝ่ายของพื้นที่โรงงานขมจิ้น

5.2 ปริมาณสารหนูที่ลดลงและประสิทธิภาพจากการบำบัดสารหนู

จากการทดลองบำบัดสารหนูในน้ำเสียน้ำชุมชนเทศบาลห้วยยอด โดยการใช้ฝายหินเรียง ทำให้ทราบถึงปริมาณสารหนูหลังจากบำบัดและสามารถนำค่าที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับปริมาณสารหนูที่มีอยู่ในน้ำเสียน้ำก่อนเข้าฝาย (ตารางที่ 23 , ภาพที่ 24 - 26) ทำให้สามารถศึกษาถึงประสิทธิภาพที่ได้จากการบำบัดสารหนูในน้ำเสียน้ำชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอดได้ โดยเมื่อวิเคราะห์ผลออกมาแล้วพบว่าผลที่ได้จากการบำบัดสารหนูในพื้นที่ทดลองต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

พื้นที่ทดลองบริเวณศูนย์สุขภาพชุมชน จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้งตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าปริมาณสารหนูในน้ำเสียน้ำหลังจากการบำบัดมีปริมาณการลดลงและประสิทธิภาพในการบำบัดของแต่ละฝ่ายดังนี้ ฝ่ายที่ 1 มีปริมาณสารหนูที่ลดลงอยู่ในช่วง $-0.026 - 0.001$ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.009 ± 0.015 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ $-866.67 - 6.25$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -300.14 ± 491.17 ฝ่ายที่ 2 มีปริมาณสารหนูที่ลดลงอยู่ในช่วง $0.000 - 0.007$ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.004 ± 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร และมี

ประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.00 – 50.00 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.02 ± 25.23 ฝ่ายที่ 3 มีปริมาณสารหนูที่ลดลงอยู่ในช่วง -0.007 – (-0.003) มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.005 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ -133.33 – (-18.75) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -62.36 ± 62.00 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดสารหนูเฉลี่ยในทุกฝ่ายที่ทำการทดลองในพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชนพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดในฝ่ายที่ 2 สำหรับประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดอยู่ในฝ่ายที่ 1 เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดทั้งหมดพบว่าในฝ่ายที่ 2 ของการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดสำหรับประสิทธิภาพที่ต่ำที่สุดอยู่ในฝ่ายที่ 1 ของการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 ซึ่งสามารถทำให้เห็นได้ว่าการบำบัดสารหนูของฝ่ายต่างๆ นั้นมีประสิทธิภาพการบำบัดในการเก็บตัวอย่างครั้งต่างๆ ที่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากประสิทธิภาพการบำบัดในแต่ละครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่างของแต่ละฝ่ายทำให้เห็นได้ว่าส่วนใหญ่ในฝ่ายที่ทำการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 1 จะมีประสิทธิภาพที่เป็นบวกและและมีค่าสูงกว่าครั้งอื่นๆ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดจะเริ่มลดลงในครั้งต่อไป และเมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดที่ได้ในแต่ละฝ่ายมาเปรียบเทียบกับฝ่ายของพื้นที่ทดลองอื่นๆ ตลอดจนการทดลองพบว่าพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชนมีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัดต่ำกว่าพื้นที่อื่นๆ

พื้นที่ทดลองบริเวณที่ทำการเทศบาล จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้งตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าปริมาณสารหนูในน้ำเสียน้ำหลังจากการบำบัดมีปริมาณการลดลงและประสิทธิภาพในการบำบัดของแต่ละฝ่ายดังนี้ ฝ่ายที่ 1 มีปริมาณสารหนูที่ลดลงอยู่ในช่วง -0.008 – 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.001 ± 0.007 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ -800.00 – 71.43 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -251.19 ± 477.72 ฝ่ายที่ 2 มีปริมาณสารหนูที่ลดลงอยู่ในช่วง -0.003 – 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.001 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ -100.00 – 50.00 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -36.67 ± 77.67 ฝ่ายที่ 3 มีปริมาณสารหนูที่ลดลงอยู่ในช่วง 0.001 – 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.002 ± 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ 33.33 – 50.00 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 42.06 ± 8.36 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดสารหนูเฉลี่ยในทุกฝ่ายที่ทำการทดลองในพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาลพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดในฝ่ายที่ 3 สำหรับประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดอยู่ในฝ่ายที่ 1 และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดทั้งหมดพบว่าในฝ่ายที่ 1 ของการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดสำหรับประสิทธิภาพที่ต่ำที่สุดอยู่ในฝ่ายที่ 1 ของการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 ซึ่งสามารถทำให้เห็นได้ว่าการบำบัดสารหนูของฝ่ายต่างๆ นั้นมีประสิทธิภาพการบำบัดในการเก็บตัวอย่างครั้งต่างๆ ที่แตกต่างกัน

แต่เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากประสิทธิภาพการบำบัดในการเก็บตัวอย่างของแต่ละฝ่ายทำให้เห็นได้ว่า ส่วนใหญ่ฝ่ายที่ 1 จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้อยกว่าฝ่ายอื่นๆ ที่ครั้งเก็บตัวอย่างเดียวกันเนื่องจาก ฝ่ายที่ 1 เป็นฝ่ายที่มีการอุดตันมากกว่าฝ่ายอื่นๆ ทำให้ความสามารถในการบำบัดของฝ่ายที่ 1 ไม่ดี เท่ากับฝ่ายอื่นๆ สำหรับประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมส่วนใหญ่ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2 จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 โดยประสิทธิภาพในการบำบัดจะเริ่มลดลงตาม ระยะเวลาที่นานขึ้น และเมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดที่ได้ในแต่ละฝ่ายมาเปรียบเทียบกับฝ่ายของ พื้นที่ทดลองอื่นๆ ตลอดจนการทดลองพบว่าพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาลมีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการ บำบัดดีกว่าพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชนเนื่องจากบริเวณพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาลมีความลาดชัน ต่ำกว่าพื้นที่อื่นๆ ทำให้การสัมผัสระหว่างโลหะหนักกับวัสดุยึดจับสามารถจับตัวกันได้ดีขึ้น

พื้นที่ทดลองบริเวณโรงงานขนมเงิน จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้งตลอดระยะเวลาการ ทดลอง พบว่าปริมาณสารหนูในน้ำเสียน้ำหลังจากการบำบัดมีปริมาณการลดลงและประสิทธิภาพใน การบำบัดของแต่ละฝ่ายดังนี้ ฝ่ายที่ 1 มีปริมาณสารหนูที่ลดลงอยู่ในช่วง $-0.001 - 0.004$ มิลลิกรัมต่อ ลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.001 ± 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ $-100.00 - 26.67$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -16.11 ± 72.66 ฝ่ายที่ 2 มีปริมาณสารหนูที่ลดลงอยู่ในช่วง $-0.006 - 0.004$ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.000 ± 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัด อยู่ในช่วงร้อยละ $-200.00 - 36.36$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -45.46 ± 133.92 ฝ่ายที่ 3 มีปริมาณสารหนูที่ลดลง อยู่ในช่วง $0.000 - 0.003$ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.002 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร และมี ประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ $0.00 - 42.86$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.45 ± 22.04 เมื่อพิจารณา ประสิทธิภาพในการบำบัดสารหนูเฉลี่ยในทุกฝ่ายที่ทำการทดลองในพื้นที่ทดลองโรงงานขนมเงิน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดในฝ่ายที่ 3 สำหรับ ประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดอยู่ในฝ่ายที่ 2 และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดทั้งหมด พบว่าในฝ่ายที่ 3 ของการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 3 มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดสำหรับ ประสิทธิภาพที่ต่ำที่สุดอยู่ในฝ่ายที่ 2 ของการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 ซึ่งสามารถทำให้เห็นได้ว่าการ บำบัดสารหนูของฝ่ายต่างๆ นั้นมีประสิทธิภาพการบำบัดในการเก็บตัวอย่างครั้งต่างๆ ที่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากประสิทธิภาพการบำบัดในแต่ละครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่างของแต่ละฝ่ายทำ ให้เห็นได้ว่าส่วนใหญ่ในฝ่ายที่ทำการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 1 จะมีประสิทธิภาพที่เป็นบวกและและมี ค่าสูงกว่าครั้งอื่นๆ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดจะเริ่มลดลงในครั้งต่อไป และเมื่อนำประสิทธิภาพ การบำบัดเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละฝ่ายมาเปรียบเทียบกับฝ่ายของพื้นที่ทดลองอื่นๆ ตลอดจนการทดลองพบว่า พื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชนมีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัดสูงกว่าทุกพื้นที่ทดลอง

สรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสารหนูเมื่อพิจารณาจากปริมาณการลดลงและประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูของตัวฝายแต่ละฝายในพื้นที่ทดลองต่างๆ ทำให้เห็นได้ว่า ค่าส่วนใหญ่ที่ได้ในฝายที่ 2 ของทุกพื้นที่ทดลองมีความสามารถในการบำบัดสารหนูได้ดีกว่าฝายอื่นๆ สำหรับพื้นที่ทดลองที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูที่ดีที่สุดคือพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาลและการเก็บตัวอย่างในการทดลองพบว่าในครั้งที่ 1 ของทุกพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุดและจะลดลงตามระยะเวลาการทดลองที่นานขึ้น ซึ่งค่าที่ลดลงนี้เกิดจากเมื่อฝายที่ใช้ในการทดลองมีระยะเวลาในการทดลองที่นานขึ้น เศษตะกอนขนาดเล็กที่ลอยตามกระแสน้ำมาจะเข้าไปอุดตันในช่องว่างของตัวฝายทำให้การสัมผัสของฝายกับโลหะหนักที่อยู่ในน้ำเกิดขึ้นน้อยลง การบำบัดก็จะลดลงตามมาด้วย โดยปริมาณสารหนูที่ตรวจวัดได้ในทุกพื้นที่พบว่าในพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาลและโรงงานขนมเงินมีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพในแหล่งน้ำผิวดินที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ สำหรับในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชนมีบางจุดที่ตรวจวัดปริมาณสารหนูได้เกินมาตรฐานซึ่งเกินเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 23 ปริมาณการลดลง (ก) และประสิทธิภาพการบำบัด (ข) สารหนูหลังจากเข้าสู่ฝายหินเรียงตามจุดเก็บตัวอย่าง ในพื้นที่ทดลอง

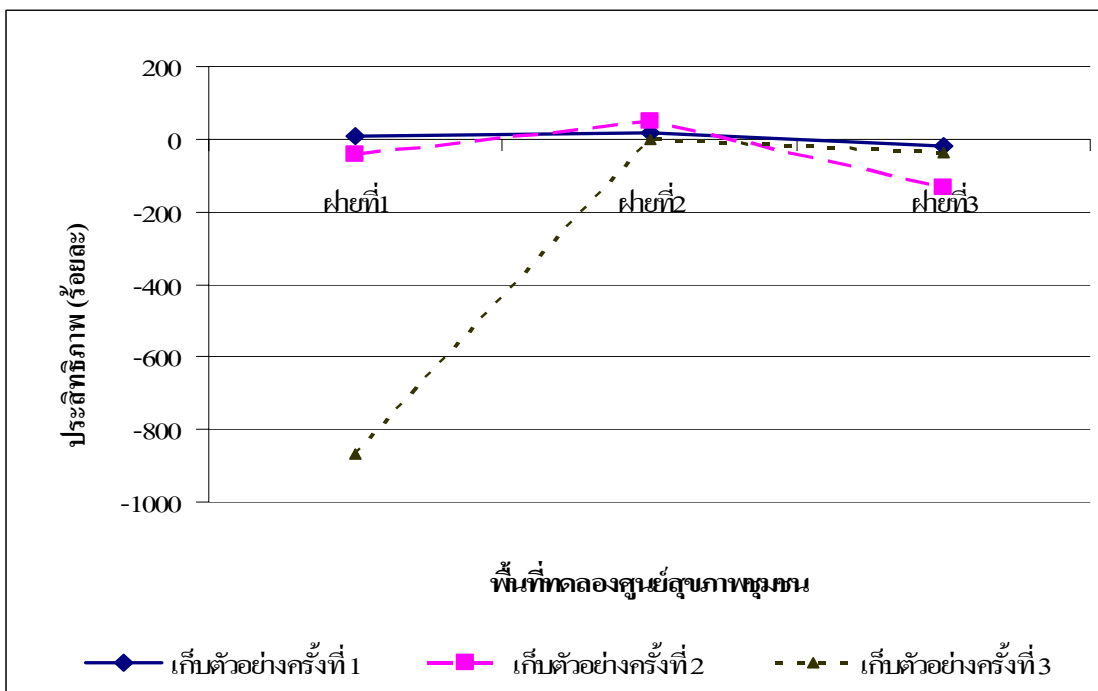
(ก) ปริมาณการลดลงของสารหนูในการบำบัด

พื้นที่ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณของสารหนูที่ลดลงในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ (x 10 ³ มิลลิกรัม/ลิตร) *			เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
		1	2	3		
ศูนย์สุขภาพชุมชน	ฝายที่ 1	1.0	-2.0	-6.0	-9.0	15.0
	ฝายที่ 2	4.0	7.0	0.0	4.0	4.0
	ฝายที่ 3	-3.0	-4.0	-7.0	-5.0	2.0
ที่ทำการเทศบาล	ฝายที่ 1	-1.0	5.0	-8.0	-1.0	7.0
	ฝายที่ 2	1.0	-2.0	-3.0	-1.0	2.0
	ฝายที่ 3	1.0	2.0	3.0	2.0	1.0
โรงงานขนมจิ้น	ฝายที่ 1	2.0	4.0	-1.0	2.0	3.0
	ฝายที่ 2	4.0	3.0	-6.0	0.0	6.0
	ฝายที่ 3	1.0	0.0	3.0	2.0	2.0

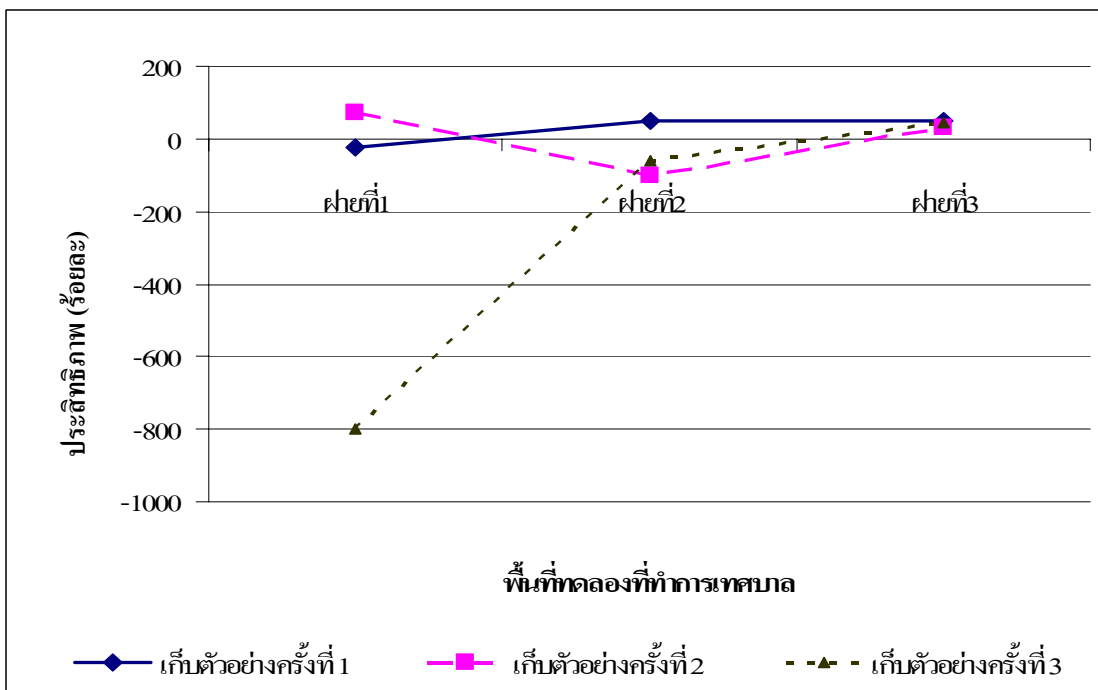
(ข) ประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในการทดลอง

พื้นที่ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ประสิทธิภาพการบำบัดในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ (ร้อยละ) *			เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
		1	2	3		
ศูนย์สุขภาพชุมชน	ฝายที่ 1	6.25	-40.00	-866.67	-300.14	491.17
	ฝายที่ 2	19.05	50.00	0.00	23.02	25.23
	ฝายที่ 3	-18.75	-133.33	-35.00	-62.36	62.00
ที่ทำการเทศบาล	ฝายที่ 1	-25.00	71.43	-800.00	-251.19	477.72
	ฝายที่ 2	50.00	-100.00	-60.00	-36.67	77.67
	ฝายที่ 3	50.00	33.33	42.85	42.06	8.36
โรงงานขนมจิ้น	ฝายที่ 1	25.00	26.67	-100.00	-16.11	72.66
	ฝายที่ 2	36.36	27.27	-200.00	-45.46	133.92
	ฝายที่ 3	12.50	0.00	42.86	18.45	22.04

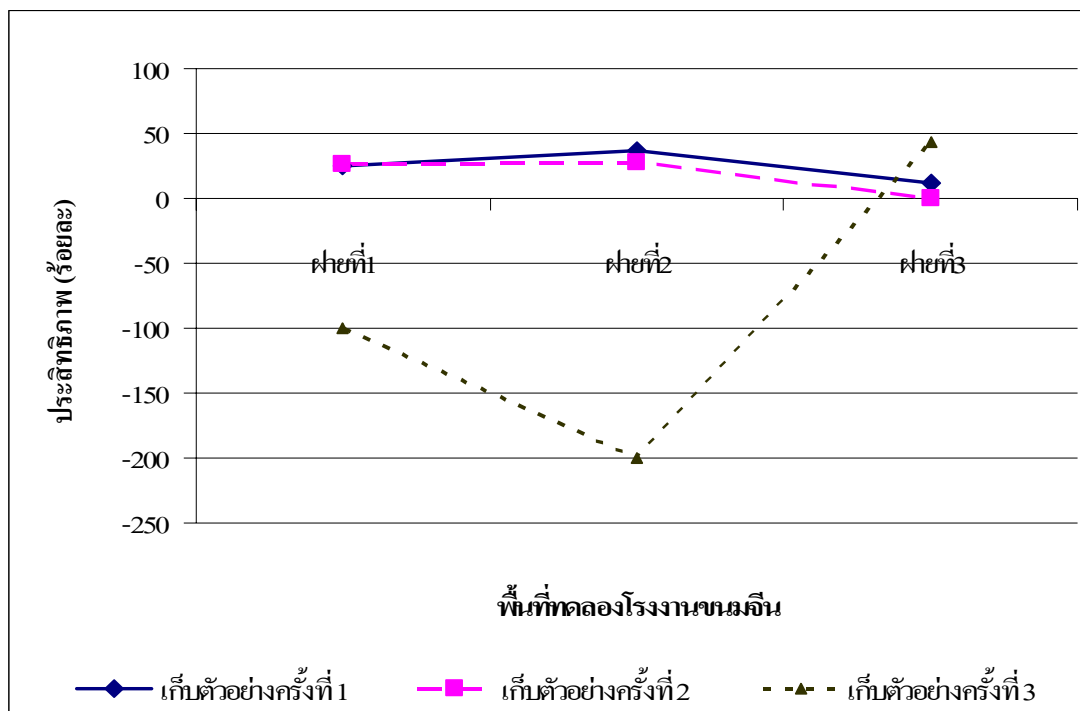
หมายเหตุ : * ครั้งที่ 1 วันที่ 21 มกราคม 2551 , ครั้งที่ 2 วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551, ครั้งที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2551



ภาพที่ 24 ประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียง ในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน



ภาพที่ 25 ประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียงในพื้นที่ทำการเทศบาล



ภาพที่ 26 ประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียงในพื้นที่โรงงานขมเงิน

5.3 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณสารหนูบริเวณหน้าและหลังฝายทุกจุด และประสิทธิภาพที่ได้ในแต่ละฝาย แต่ละพื้นที่ที่ทดลอง และระหว่างครั้งทดลองที่มีต่อการบำบัดสารหนู

ศึกษาปริมาณความแตกต่างของสารหนูระหว่างหน้าและหลังฝายในทุกพื้นที่โดยใช้วิธี pair-sample t-test สำหรับประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในน้ำเสียชุมชน โดยการใช้ฝายหินเรียงในการเก็บตัวอย่างแต่ละฝาย โดยนำผลที่ได้มาทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพความแตกต่างระหว่างฝาย ระหว่างพื้นที่ และระหว่างครั้งในการเก็บตัวอย่างของแต่ละพื้นที่ที่ทดลอง ต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารหนู โดยทดสอบความแตกต่างในทุกค่าข้อมูลได้ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One – Way Analysis of Variance) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ $\alpha = 0.05$ และเมื่อพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทำการทดสอบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.05$ เพื่อทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในแต่ละฝาย ในแต่ละพื้นที่ และในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพที่ได้ ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยการวิเคราะห์ทางสถิติดังนี้

1) การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหน้าและหลังฝาย

จากการทดสอบความแตกต่างระหว่างหน้าและหลังฝายในการบำบัดสารหนูของฝายในทุกพื้นที่ โดยนำค่าปริมาณสารหนูที่เข้าและออกจากฝายในตารางที่ 22 มาใช้ในการวิเคราะห์ โดยผลของการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 24 โดยมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถอธิบายได้ดังนี้

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 24 พบว่า ความแตกต่างของปริมาณสารหนูหน้าฝายกับปริมาณสารหนูหลังฝายในแต่ละพื้นที่ทดลองไม่มีความแตกต่างที่นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.05$ เนื่องจากปริมาณสารหนูทั้งหน้าและหลังฝายแต่ละฝายมีปริมาณใกล้เคียงกันและค่าที่ตรวจวัดได้มีค่าน้อยทำให้ในการวิเคราะห์ส่งผลให้เห็นความแตกต่างของปริมาณตะกั่วหน้าและหลังฝายในแต่ละพื้นที่ได้ยาก แม้ว่าฝายจะมีประสิทธิภาพที่สามารถบำบัดสารหนูได้ แต่จะส่งผลให้ค่าทางสถิติไม่มีความแตกต่างกันของปริมาณสารหนูที่พบบริเวณฝายได้

ตารางที่ 24 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารหนูบริเวณหน้าและหลังฝายในแต่ละพื้นที่ ทุกครั้ง โดยวิธีการเปรียบเทียบแบบ Paired – Samples t - test

พื้นที่ทดลอง	ครั้งที่	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	t	df	Sig. (2-tailed)
ศูนย์สุขภาพชุมชน	1	0.0008	0.0035	0.0020	0.329	2	0.774
	2	0.0003	0.0059	0.0034	0.099	2	0.930
	3	-0.0110	0.0135	0.0078	-1.416	2	0.292
ที่ทำกรเทศบาล	1	0.0003	0.0012	0.0007	0.500	2	0.667
	2	0.0003	0.0040	0.0023	0.143	2	0.899
	3	-0.0026	0.0055	0.0032	-0.839	2	0.490
โรงงานนมจีน	1	0.0023	0.0015	0.0009	2.646	2	0.118
	2	0.0023	0.0021	0.0012	1.941	2	0.192
	3	-0.0013	0.0045	0.0026	-0.512	2	0.659

หมายเหตุ : ครั้งที่ 1 คือ วันที่ 21 มกราคม 2551 ,ครั้งที่ 2 คือ วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551 ,ครั้งที่ 3 คือ วันที่ 10 มีนาคม 2551

2) การเปรียบเทียบปริมาณความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่าง ฝ่ายของแต่ละพื้นที่

จากการทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูที่พบในแต่ละฝ่ายทั้ง 3 ฝ่ายของแต่ละพื้นที่ทดลอง โดยนำค่าประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในแต่ละฝ่ายจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้งในตารางที่ 23 มาใช้ในการวิเคราะห์ ผลจากการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในฝ่ายที่ 1 ถึงฝ่ายที่ 3 ของแต่ละพื้นที่ทดลองเพื่อที่จะทำให้ทราบถึงความแตกต่างของฝ่ายแต่ละฝ่ายที่ใช้ในการบำบัดสารหนูว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยผลการทดสอบทางสถิติแสดงได้ในตารางผนวกที่ 13 ถึงตารางผนวกที่ 15 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูของแต่ละฝ่ายในแต่ละพื้นที่ทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 25 ทำให้เห็นว่าความแตกต่างของประสิทธิภาพของฝ่ายระหว่างฝ่ายในแต่ละพื้นที่ทดลองไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารหนู โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ในทุกพื้นที่ทดลอง โดยเมื่อนำค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดมาเปรียบเทียบกันระหว่างฝ่ายในแต่ละพื้นที่ทดลองด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ DMRT ดังตารางที่ 26 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในแต่ละฝ่ายของพื้นที่ทดลองพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน พื้นที่ทำการเกษตร และพื้นที่โรงงานขนมนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทำให้สรุปให้เห็นได้ว่าความแตกต่างของฝ่ายแต่ละฝ่ายไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดสารหนูของแต่ละพื้นที่ทดลอง

ตารางที่ 25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างฝ่ายใน พื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน ถึงพื้นที่โรงงานขนมนั้น

แหล่งความ แปรปรวน	ศูนย์สุขภาพชุมชน	ทำการเกษตร	โรงงานขนมนั้น
ระหว่างฝ่าย	1.027 ^{ns}	0.885 ^{ns}	0.389 ^{ns}

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ 26 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างฝ่ายของแต่ละพื้นที่ทดลองภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT

พื้นที่ทดลอง	ฝ่ายที่		
	1	2	3
พื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน	-300.14 ^a	23.02 ^a	-62.36 ^a
พื้นที่ทำการเทศบาล	-251.19 ^a	-36.67 ^a	42.06 ^a
พื้นที่โรงงานนมจีน	-16.11 ^a	-45.46 ^a	18.45 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่มุมบนต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าประสิทธิภาพ การบำบัดเฉลี่ยของแต่ละฝ่ายในพื้นที่ทดลองเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3) การเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการบำบัดสารหนูระหว่างพื้นที่ของแต่ละฝ่าย

จากการทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในแต่ละพื้นที่ทดลองที่ฝ่ายทดลองเดียวกัน โดยนำค่าประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในแต่ละพื้นที่ทดลองจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้ง โดยใช้ผลจากตารางที่ 23 มาใช้ในการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูของพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชน ที่ทำการเทศบาล และพื้นที่ทดลองโรงงานนมจีน ที่บริเวณฝายตัวเดียวกัน เพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างของพื้นที่ทดลองว่ามีความแตกต่างของการบำบัดตะกั่วหรือไม่ โดยผลการทดสอบทางสถิติแสดงได้ในตารางผนวกที่ 22 ถึงตารางผนวกที่ 24 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูของแต่ละพื้นที่ทดลองที่ฝ่ายทดลองตัวเดียวกันแสดงไว้ในตารางที่ 27 ทำให้เห็นถึงความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างพื้นที่ทดลองที่ทำการทดสอบในฝายเดียวกัน ซึ่งพบว่าในฝ่ายที่ 1 และ ฝ่ายที่ 2 ของแต่ละพื้นที่ทดลองไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูที่ฝายเดียวกันและไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ยกเว้นที่ฝายที่ 3 ที่มีความแตกต่างจากค่าอื่นๆ โดยเมื่อนำค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการบำบัดสารหนูมาเปรียบเทียบกันระหว่างพื้นที่ทดลองใน แต่ละฝ่ายด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ DMRT ดังตารางที่ 28 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด

สารหนูในแต่ละพื้นที่ทดลองของฝ่ายที่ 1 และ ฝ่ายที่ 2 นั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ในฝ่ายที่ 3 ของพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชนที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 จากพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาลและพื้นที่โรงงานขนมจีน เนื่องจากทั้งสองพื้นที่ดังกล่าว เป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยกว่าพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชน อีกทั้งพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชนไม่มีตะกอนที่จะเป็นตัวช่วยในการจับ โลหะหนักทำให้ประสิทธิภาพที่ได้แตกต่างจากค่าของพื้นที่ทดลองอื่นๆ สรุปให้เห็นได้ว่าความแตกต่างของพื้นที่ทดลองในแต่ละพื้นที่ที่มีตะกอนจะสามารถช่วยในการบำบัดสารหนูได้

ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างพื้นที่ในฝ่ายที่ 1 ถึง ฝ่ายที่ 3

แหล่งความแปรปรวน	ฝ่ายที่1	ฝ่ายที่2	ฝ่ายที่3
ระหว่างพื้นที่	0.409 ^{ns}	0.508 ^{ns}	6.134 [*]

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ 28 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างพื้นที่ในแต่ละฝ่าย ภายหลังจากวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT

จุดเก็บตัวอย่าง	พื้นที่ทดลอง		
	ศูนย์สุขภาพชุมชน	ที่ทำการเทศบาล	โรงงานขนมจีน
ฝ่ายที่1	-300.14 ^a	-251.19 ^a	16.11 ^a
ฝ่ายที่2	23.02 ^a	-36.67 ^a	-45.46 ^a
ฝ่ายที่3	-62.36 ^a	42.06 ^b	18.45 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรที่มุมบนต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่ทดลองที่ฝ่ายเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4) การเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการบำบัดสารหนูระหว่างครั้งในการทดลอง

การทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการบำบัดสารหนูระหว่างครั้งในแต่ละพื้นที่ทดลองโดยวิเคราะห์ผลทีละพื้นที่ทดลองจากประสิทธิภาพของทั้ง 3 ฝ่ายโดยใช้ผลจากตารางที่ 23 มาใช้ในการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูของครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ที่พื้นที่ทดลองเดียวกัน เพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างของระยะเวลาในการทดลองว่ามีผลต่อการบำบัดสารหนูของแต่ละพื้นที่หรือไม่ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 31 ถึงตารางผนวกที่ 33 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูของแต่ละพื้นที่ในตารางที่ 29 พบว่าความแตกต่างระหว่างครั้งมีผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูของทุกพื้นที่การทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการบำบัดสารหนูระหว่างครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่างของพื้นที่ต่างๆ ภายหลังจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี DMRT ในตารางที่ 30 พบว่าในทุกครั้งของทุกพื้นที่จะไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งจากค่าที่ได้นั้นมาจากปริมาณสารหนูที่ลดลงนั้นมีค่าน้อยมากเมื่อนำมาคิดคำนวณค่าทำให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยมีน้อยจนทำให้เห็นได้ว่าค่าไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งเมื่อดูจากประสิทธิภาพการบำบัดที่ลดลงในตารางที่ 23 ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้นสอดคล้องกับปริมาณการลดลงของสารหนู ที่มีค่าน้อยและมีช่วงของประสิทธิภาพที่กว้าง ซึ่งทำให้ค่าวิเคราะห์ความแตกต่างกันทางสถิติของแต่ละฝ่ายนั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับประสิทธิภาพของการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 1 ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับครั้งอื่นๆ

จากที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นได้ว่า การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ฟายหินเรียง สามารถบำบัดสารหนูได้เพียงเล็กน้อยโดยพบว่า ปริมาณสารหนูที่เข้าและออกจากฝายไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารหนู ประสิทธิภาพการบำบัดที่ฝายต่างๆ ในแต่ละพื้นที่ไม่มีความแตกต่างกันในทุกพื้นที่ สำหรับประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละพื้นที่ทดลองที่ฝายเดียวกันจะมีความแตกต่างกันเฉพาะในฝายที่ 3 ของพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชนที่แตกต่างจากพื้นที่อื่นๆ สำหรับระยะเวลาในการทดลองไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูของทุกพื้นที่ทดลอง โดยสรุปได้ว่าความแตกต่างของฝายและระยะเวลาในการทดลองไม่มีผลต่อการบำบัดสารหนู แต่ความแตกต่างของพื้นที่ทดลองที่ฝายตัวเดียวกันในการทดลองมีผลต่อการบำบัดสารหนู

ตารางที่ 29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างครั้งในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน ถึงพื้นที่โรงงานขนมเงิน

แหล่งความแปรปรวน	พื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน	พื้นที่ทำการเทศบาล	พื้นที่โรงงานขนมเงิน
ระหว่างครั้ง	0.967 ^{ns}	1.111 ^{ns}	2.254 ^{ns}

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ 30 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในแต่ละครั้งของพื้นที่ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT

พื้นที่ทดลอง	ครั้งที่		
	1	2	3
พื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน	2.18 ^a	-41.11 ^a	-300.55 ^a
พื้นที่ทำการเทศบาล	25.00 ^a	1.59 ^a	-272.38 ^a
พื้นที่โรงงานขนมเงิน	24.62 ^a	17.98 ^a	-85.71 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่มุมบนต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันของประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยในแต่ละครั้งของพื้นที่ทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

6. ประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดปรอท

6.1 ปริมาณปรอทจากการบำบัด

จากการใช้น้ำเสียจากชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอด ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ฝายหินเรียง ในลักษณะระบายน้ำเสียไหลผ่านฝายทางด้านหน้าและออกทางด้านหลัง พบว่าปริมาณปรอทภายหลังการบำบัดในพื้นที่ทดลองต่างๆ (ตารางที่ 31 , ภาพที่ 27 - 29) สามารถอธิบายได้ดังนี้

พื้นที่ทดลองบริเวณศูนย์สุขภาพชุมชนซึ่งเป็นจุดแรกที่ได้รับน้ำเสียจากชุมชนเข้าสู่การบำบัด โดยมีผลการศึกษาของปริมาณปรอทในน้ำเสียที่จุดเก็บตัวอย่างหน้าและหลังฝายทั้ง 3 ฝายในการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้ง สามารถแสดงค่าได้ดังนี้ ฝายที่ 1 ปริมาณปรอทที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.0015 – 0.0091 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.0057 ± 0.0039 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณปรอทที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.0037 – 0.0096 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.0066 ± 0.0030 มิลลิกรัมต่อลิตร ในฝายที่ 2 ปริมาณปรอทที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.0055 - 0.0084 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.0074 ± 0.0016 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณปรอทที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.0017 – 0.0121 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.0052 ± 0.0059 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับฝายที่ 3 ปริมาณปรอทที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.0017 – 0.0515 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.0229 ± 0.0257 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณปรอทที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.0021 – 0.0113 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.0072 ± 0.0047 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำปริมาณค่าเฉลี่ยของปรอทที่เก็บตัวอย่างในแต่ละฝายมาเปรียบเทียบกันพบว่าปริมาณของปรอทพบมากที่สุดที่ฝายที่ 3 บริเวณด้านหน้าสำหรับปริมาณปรอทน้อยที่สุดพบที่ด้านหน้าของฝายที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้ทั้งหมดกับพื้นที่ทดลองอื่นๆ พบว่า ปริมาณปรอทของพื้นที่ทดลองบริเวณศูนย์สุขภาพชุมชน ส่วนใหญ่มีปริมาณปรอทในแต่ละฝายเฉลี่ยน้อยกว่าพื้นที่ทดลองอื่นๆ

พื้นที่ทดลองบริเวณที่ทำการเทศบาล ใช้น้ำเสียบางส่วนจากอาคารราชการ ถนนในบริเวณใกล้เคียง โดยมีผลการศึกษาของปริมาณปรอทในน้ำเสียที่จุดเก็บตัวอย่างหน้าและหลังฝายทั้ง 3 ฝายในการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้ง สามารถแสดงค่าได้ดังนี้ ฝายที่ 1 ปริมาณปรอทที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.0044 – 0.300 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.1039 ± 0.1698 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณปรอทที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.000 – 0.0089 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.0056 ± 0.0049 มิลลิกรัมต่อลิตร ในฝายที่ 2 ปริมาณปรอทที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง 0.0035 - 0.0401 มิลลิกรัมต่อลิตร

เฉลี่ยเท่ากับ 0.0158 ± 0.0210 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณปรอทที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.0011 - 0.0130$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.0074 ± 0.0060 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับฝายที่ 3 ปริมาณปรอทที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.0044 - 0.0235$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.0117 ± 0.0103 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณปรอทที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.0008 - 0.0229$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.0143 ± 0.0119 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำปริมาณค่าเฉลี่ยของปรอทที่เก็บตัวอย่างในแต่ละฝายมาเปรียบเทียบกันพบว่าปริมาณของปรอทพบมากที่สุดใฝายที่ 1 บริเวณด้านหน้า สำหรับปริมาณสารหนุ่ย่อยที่สุดพบที่ด้านหลังของฝายที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้ทั้งหมดกับพื้นที่ทดลองอื่นๆ พบว่าปริมาณปรอทของพื้นที่ทดลองบริเวณที่ทำการเทศบาล มีปริมาณปรอทในแต่ละฝายเฉลี่ยใกล้เคียงกับพื้นที่ทดลองโรงงานขนมเงินแต่มากกว่าพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชน

พื้นที่ทดลองบริเวณ โรงงานขนมเงินรับน้ำเสียส่วนใหญ่จากโรงผลิตขนมเงิน ชุมชนในพื้นที่ใกล้เคียง โดยมีผลการศึกษาของปริมาณปรอทในน้ำเสียที่จุดเก็บตัวอย่างหน้าและหลังฝายทั้ง 3 ฝายในการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้ง สามารถแสดงค่าได้ดังนี้ ฝายที่ 1 ปริมาณปรอทที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.0064 - 0.0367$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.0266 ± 0.0175 มิลลิกรัมต่อลิตรและปริมาณปรอทที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.0002 - 0.0162$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.0091 ± 0.0082 มิลลิกรัมต่อลิตร ในฝายที่ 2 ปริมาณปรอทที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.0017 - 0.0415$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.0184 ± 0.0206 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณปรอทที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.0043 - 0.0048$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.0045 ± 0.0003 มิลลิกรัมต่อลิตรสำหรับฝายที่ 3 ปริมาณปรอทที่หน้าฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.005 - 0.0321$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.0142 ± 0.0155 มิลลิกรัมต่อลิตรและปริมาณปรอทที่หลังฝายมีค่าอยู่ในช่วง $0.0018 - 0.007$ มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.0043 ± 0.0026 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำปริมาณค่าเฉลี่ยของปรอทที่จุดเก็บตัวอย่างแต่ละฝายมาเปรียบเทียบพบว่าปริมาณของปรอทมากที่สุดใฝายที่ 1 ด้านหน้าสำหรับปริมาณปรอทน้อยที่สุดพบบริเวณหลังฝายที่ 3 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้ทั้งหมดกับพื้นที่ทดลองอื่นๆ พบว่า ปริมาณปรอทของพื้นที่ทดลองบริเวณ โรงงานขนมเงิน มีปริมาณปรอทเฉลี่ยมากกว่าพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชนแต่ใกล้เคียงกับพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาล

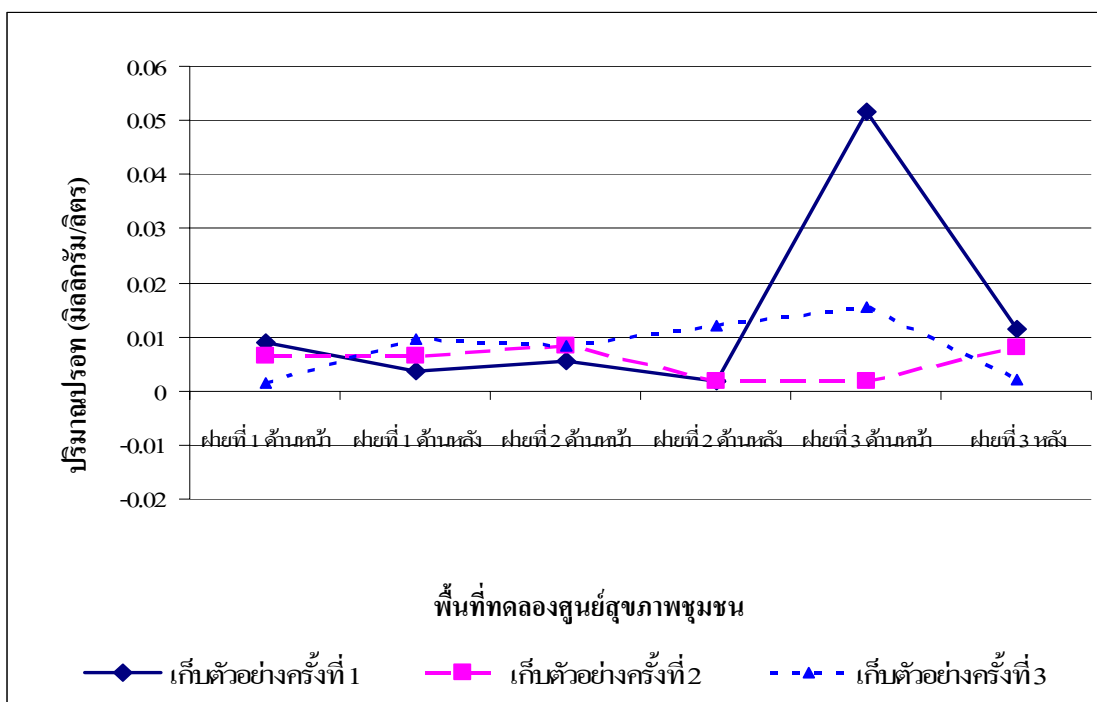
ตารางที่ 31 ปริมาณปรอทในน้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยวิธีการใช้ฟายหินเรียง($\times 10^{-3}$ มิลลิกรัม/ลิตร)

พื้นที่ ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณที่พบในการเก็บตัวอย่างครั้ง			ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความผัน แปร
		1	2	3			
ศูนย์ สุขภาพ ชุมชน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	9.1	6.4	1.5	5.7	3.9	68
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	3.7	6.4	9.6	6.6	3.0	45
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	5.5	8.2	8.4	7.4	1.6	22
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	1.7	1.8	12.1	5.2	5.9	113
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	51.5	1.7	15.5	22.9	25.7	112
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	11.3	8.1	2.1	7.2	4.7	65
ที่ทำการ เทศบาล	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	300.0	7.3	4.4	103.9	169.8	163
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	0.0	8.9	7.8	5.6	4.9	88
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	40.1	3.8	3.5	15.8	21.0	133
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	1.1	13.0	8.1	7.4	6.0	81
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	23.5	7.1	4.4	11.7	10.3	88
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	0.8	22.9	19.3	14.3	11.9	83
โรงงาน ขนมจีน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	36.7	36.6	6.4	26.6	17.5	66
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	10.9	16.2	0.2	9.1	8.2	90
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	41.5	12.1	1.7	18.4	20.6	112
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	4.3	4.8	4.3	4.5	0.3	7
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	32.1	5.4	5.0	14.2	15.5	109
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	7.0	1.8	4.2	4.3	2.6	60

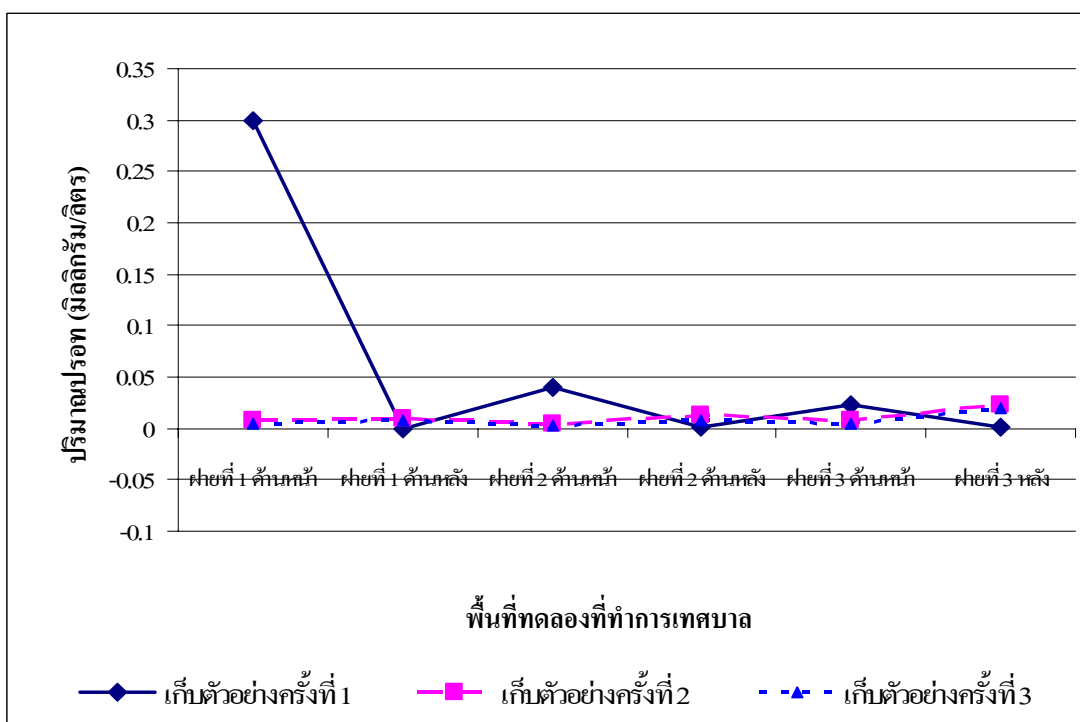
หมายเหตุ : * ครั้งที่ 1 วันที่ 21 มกราคม 2551

ครั้งที่ 2 วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551

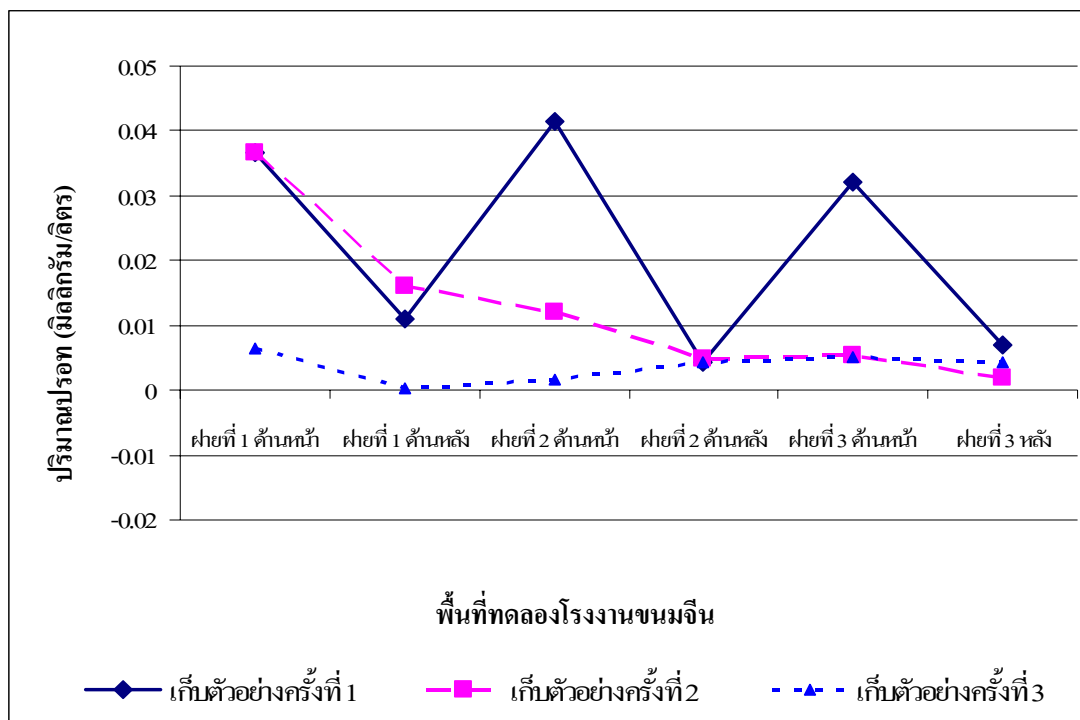
ครั้งที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2551



ภาพที่ 27 ปริมาณปรอทในน้ำตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝ่ายของพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน



ภาพที่ 28 ปริมาณปรอทในน้ำเสี้ยวตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝ่ายของพื้นที่ที่ทำการเทศบาล



ภาพที่ 29 ปริมาณปรอทในน้ำเสียตามจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละฝายของพื้นที่โรงงานขนมจลิน

6.2 ปริมาณปรอทที่ลดลงและประสิทธิภาพจากการบำบัดปรอท

จากการทดลองบำบัดปรอทในน้ำเสียชุมชนเทศบาลห้วยยอดโดยการใช้ฝายหินเรียง ทำให้ทราบถึงปริมาณปรอทหลังจากบำบัดและสามารถนำค่าที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบปริมาณปรอทที่มีอยู่ในน้ำเสียก่อนเข้าฝาย (ตารางที่ 32, ภาพที่ 30 - 32) ทำให้สามารถศึกษาถึงปริมาณที่ลดลงและประสิทธิภาพที่ได้จากการบำบัดปรอทในน้ำเสียชุมชนเทศบาลตำบลห้วยยอดได้ โดยมีวิเคราะห์ผลออกมาแล้วพบว่าในการบำบัดปรอทในพื้นที่ทดลองต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

พื้นที่ทดลองบริเวณศูนย์สุขภาพชุมชน จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้งตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าปริมาณปรอทในน้ำเสียภายหลังจากการบำบัดมีปริมาณการลดลงและประสิทธิภาพในการบำบัดของแต่ละฝายดังนี้ ฝายที่ 1 มีปริมาณปรอทที่ลดลงอยู่ในช่วง $-0.0081 - 0.0054$ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.0009 ± 0.0068 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ $-54.00 - 59.34$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -160.22 ± 320.23 ฝายที่ 2 มีปริมาณปรอทที่ลดลงอยู่ในช่วง $-0.0037 - 0.0064$ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0022 ± 0.0052 มิลลิกรัมต่อลิตร และมี

ประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ -44.05 – 78.05 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.36 ± 68.06 ฝ่ายที่ 3 มีปริมาณปรอทที่ลดลงอยู่ในช่วง -0.0064 – 0.0402 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0157 ± 0.0234 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ -376.47 – 86.45 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -70.66 ± 264.88 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดปรอทเฉลี่ยในทุกฝ่ายที่ทำการทดลองในพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชนพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดปรอทให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดในฝ่ายที่ 2 สำหรับประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดอยู่ในฝ่ายที่ 1 เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดทั้งหมดพบว่าในฝ่ายที่ 3 ของการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 3 มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดสำหรับประสิทธิภาพที่ต่ำที่สุดอยู่ในฝ่ายที่ 1 ของการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 ซึ่งสามารถทำให้เห็นได้ว่าการบำบัดปรอทของฝ่ายต่างๆ นั้นมีประสิทธิภาพการบำบัดในการเก็บตัวอย่างครั้งต่างๆ ที่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากประสิทธิภาพการบำบัดในแต่ละครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่างของแต่ละฝ่ายทำให้เห็นได้ว่าส่วนใหญ่ในฝ่ายที่ทำการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 1 จะมีปริมาณที่ลดลงและประสิทธิภาพการบำบัดที่ได้เป็นบวกและและมีค่าสูงกว่าครั้งอื่นๆ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดจะเริ่มลดลงในครั้งต่อไป อีกทั้งฝ่ายที่ 1 จากการเก็บตัวอย่างในทุกครั้งพบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดน้อยกว่าฝ่ายอื่นๆ เนื่องจากการไหลของน้ำผ่านที่รวดเร็วกว่าฝ่ายอื่นทำให้ประสิทธิภาพน้อยกว่าฝ่ายอื่น และเมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละฝ่ายมาเปรียบเทียบกับฝ่ายของพื้นที่ทดลองอื่นๆ ตลอดการทดลองพบว่าพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชนมีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัดสูงกว่าพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาล แต่น้อยกว่าพื้นที่ทดลองโรงงานขนมจีน

พื้นที่ทดลองบริเวณที่ทำการเทศบาล จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้งตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าปริมาณปรอทในน้ำเสียด้านหลังจากการบำบัดมีปริมาณการลดลงและประสิทธิภาพในการบำบัดของแต่ละฝ่ายดังนี้ ฝ่ายที่ 1 มีปริมาณปรอทที่ลดลงอยู่ในช่วง -0.0034 – 0.3000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0983 ± 0.1747 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ -77.27 – 100.00 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.28 ± 90.69 ฝ่ายที่ 2 มีปริมาณปรอทที่ลดลงอยู่ในช่วง -0.0092 – 0.0390 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0084 ± 0.0262 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ -242.11 – 97.25 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -92.10 ± 173.07 ฝ่ายที่ 3 มีปริมาณปรอทที่ลดลงอยู่ในช่วง -0.0158 – 0.0227 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.0027 ± 0.0220 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ -338.64 – 96.59 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -154.86 ± 225.37 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดปรอทเฉลี่ยในทุกฝ่ายที่ทำการทดลองในพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาลพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดปรอทให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดในฝ่ายที่ 1 สำหรับประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดอยู่ในฝ่ายที่ 3 และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดทั้งหมด

พบว่าในฝ่ายที่ 1 ของการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดสำหรับ ประสิทธิภาพที่ต่ำที่สุดอยู่ในฝ่ายที่ 1 ของการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 ซึ่งสามารถทำให้เห็นได้ว่าการ บำบัดปรอทของฝ่ายต่างๆ นั้นมีประสิทธิภาพการบำบัดในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ต่างๆ ที่แตกต่างกัน แต่ เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากประสิทธิภาพการบำบัดในการเก็บตัวอย่างของแต่ละฝ่ายทำให้เห็นได้ว่า ประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมส่วนใหญ่ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 จะมีประสิทธิภาพที่สูงที่สุดและ ให้ประสิทธิภาพที่เป็นบวกเฉพาะในครั้งที่ 1 เท่านั้น โดยประสิทธิภาพในการบำบัดจะเริ่มลดลงตาม ระยะเวลาที่นานขึ้น และเมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดที่ได้ในแต่ละฝ่ายมาเปรียบเทียบกับฝ่ายของ พื้นที่ทดลองอื่นๆ ตลอดจนการทดลองพบว่าพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาลมีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการ บำบัดต่ำกว่าพื้นที่ทดลองอื่นๆ

พื้นที่ทดลองบริเวณโรงงานขนมจัน จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้งตลอดระยะเวลาการ ทดลอง พบว่าปริมาณปรอทในน้ำเสียน้ำหลังจากการบำบัดมีปริมาณการลดลงและประสิทธิภาพใน การบำบัดของแต่ละฝ่ายดังนี้ ฝ่ายที่ 1 มีปริมาณปรอทที่ลดลงอยู่ในช่วง 0.0062 – 0.0258 มิลลิกรัมต่อ ลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0175 ± 0.0101 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ 55.74 – 96.88 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 74.30 ± 20.86 ฝ่ายที่ 2 มีปริมาณปรอทที่ลดลงอยู่ในช่วง -0.0026 – 0.0372 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0140 ± 0.0207 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการ บำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ -152.94 – 89.64 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.99 ± 132.41 ฝ่ายที่ 3 มีปริมาณปรอทที่ ลดลงอยู่ในช่วง 0.0008 – 0.0251 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0098 ± 0.0133 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ 16.00 – 78.19 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53.62 ± 33.09 เมื่อ พิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดปรอทเฉลี่ยในทุกฝ่ายที่ทำการทดลองในพื้นที่ทดลองโรงงาน ขนมจันพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดปรอทให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดในฝ่ายที่ 1 สำหรับ ประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดอยู่ในฝ่ายที่ 2 และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดทั้งหมด พบว่าในฝ่ายที่ 1 ของการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 3 มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดสำหรับ ประสิทธิภาพที่ต่ำที่สุดอยู่ในฝ่ายที่ 2 ของการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 ซึ่งสามารถทำให้เห็นได้ว่าการ บำบัดปรอทของฝ่ายต่างๆ นั้นมีประสิทธิภาพการบำบัดในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ต่างๆ ที่แตกต่างกัน แต่ เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากประสิทธิภาพการบำบัดในแต่ละครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่างของแต่ละฝ่ายทำให้ เห็นได้ว่าในพื้นที่โรงงานขนมจันมีประสิทธิภาพส่วนใหญ่ในฝ่ายที่ทำการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 1 จะมี ประสิทธิภาพที่เป็นบวกและและมีค่าสูงกว่าครั้งอื่นๆ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดจะเริ่มลดลงใน ครั้งต่อไป และเมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละฝ่ายมาเปรียบเทียบกับฝ่ายของพื้นที่ ทดลองอื่นๆ ตลอดจนการทดลองพบว่าพื้นที่ทดลองโรงงานขนมจันมีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัดสูง

กว่าทุกพื้นที่ที่ทดลอง และประสิทธิภาพในทุกครั้งส่วนใหญ่จะเป็นค่าบวกทั้งหมดจากการที่บริเวณนี้มีการปนเปื้อนแข็งออกมาจากน้ำเสียในปริมาณมากจากการผลิตขนมจีนซึ่งเป็นตัวช่วยในการจับกับโลหะหนักให้ตกตะกอนได้อย่างหนึ่งเช่นกัน

สรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดปรอทเมื่อพิจารณาจากปริมาณการลดลงและประสิทธิภาพการบำบัดปรอทของตัวฝายแต่ละฝายในพื้นที่ทดลองต่างๆ ทำให้เห็นได้ว่า ค่าส่วนใหญ่ที่ได้ในฝายที่ 2 ของทุกพื้นที่ทดลองมีความสามารถในการบำบัดปรอทได้ดีกว่าฝายอื่นๆ สำหรับพื้นที่ทดลองที่มีประสิทธิภาพการบำบัดปรอทที่ดีที่สุดคือพื้นที่โรงงานขนมจีน และการเก็บตัวอย่างในการทดลองพบว่าในครั้งที่ 1 ของทุกพื้นที่มีค่าที่เป็นบวกและเริ่มลดลงในครั้งที่ 2 และ 3 ตามมา ซึ่งค่าที่ลดลงนี้เกิดจากเมื่อฝายที่ใช้ในการทดลองมีระยะเวลาในการทดลองที่นานขึ้น เศษตะกอนขนาดเล็กที่ลอยตามกระแสน้ำมาจะเข้าไปอุดตันในช่องว่างของตัวฝายทำให้การสัมผัสของฝายกับโลหะหนักที่อยู่ในน้ำเกิดขึ้นน้อยลง การบำบัดก็จะลดลงตามมาด้วย โดยปริมาณปรอทที่ตรวจวัดได้ในทุกพื้นที่พบว่าส่วนใหญ่มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่กำหนดไว้ที่ 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณปรอทที่พบในฝายสุดท้ายก่อนปล่อยออกสู่ธรรมชาติมีปริมาณที่ลดลงจากตอนเข้าไปในฝายที่ 1 และสามารถลดปริมาณปรอทได้ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

ตารางที่ 32 ปริมาณการลดลง (ก) และประสิทธิภาพการบำบัด (ข) โปรทหลังจากเข้าสู่การบำบัด
ด้วยฝายหินเรียงตามจุดเก็บตัวอย่าง ในพื้นที่ทดลอง

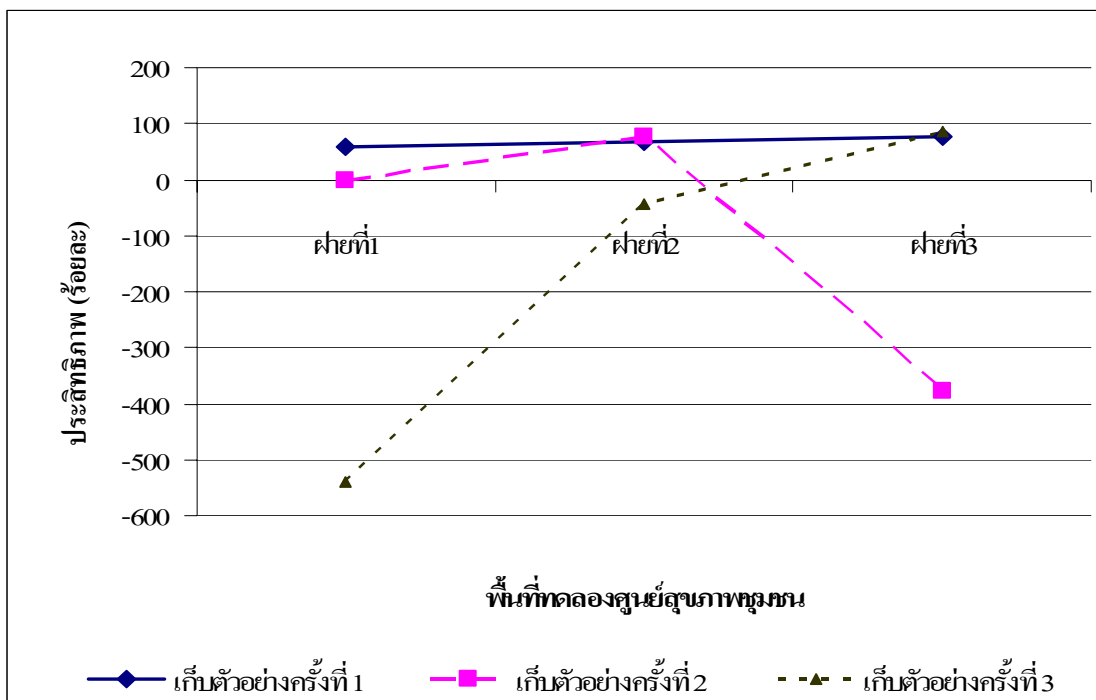
(ก) ปริมาณการลดลงของโปรทในการทดลอง

พื้นที่ ทดลอง	จุดเก็บ ตัวอย่าง	ปริมาณของโปรทที่ลดลงในการเก็บตัวอย่าง ครั้งที่ (มิลลิกรัม/ลิตร) *			เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
		1	2	3		
ศูนย์	ฝายที่ 1	5.4	0.0	-8.1	-0.9	6.8
สุภาพ	ฝายที่ 2	3.8	6.4	-3.7	2.2	5.2
ชุมชน	ฝายที่ 3	40.2	-6.4	13.4	15.7	23.4
ที่ทำการ เทศบาล	ฝายที่ 1	300.0	-1.6	-3.4	98.3	174.7
	ฝายที่ 2	39.0	-9.2	-4.6	8.4	26.6
	ฝายที่ 3	22.7	-15.8	-14.9	-2.7	22.0
โรงงาน ขนมจัน	ฝายที่ 1	25.8	20.4	6.2	17.5	10.1
	ฝายที่ 2	37.2	7.3	-2.6	14.0	20.7
	ฝายที่ 3	25.1	3.6	0.8	9.8	13.3

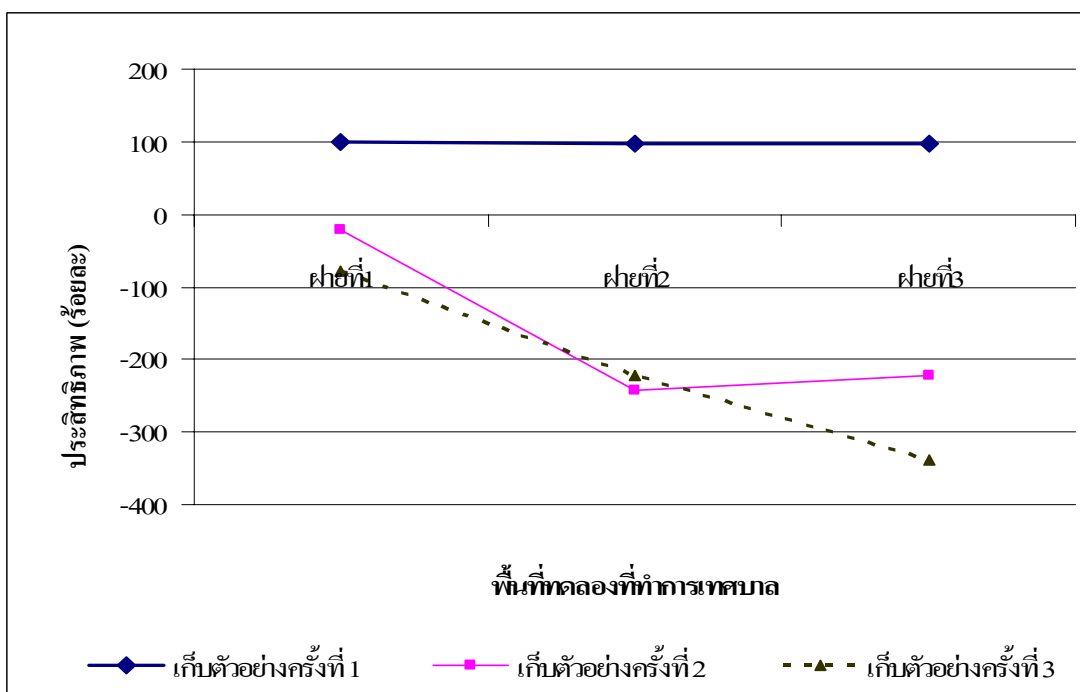
(ข) ประสิทธิภาพการบำบัดโปรทในการทดลอง

พื้นที่ ทดลอง	จุดเก็บ ตัวอย่าง	ประสิทธิภาพการบำบัดในการเก็บตัวอย่างครั้ง ที่(ร้อยละ) *			เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
		1	2	3		
ศูนย์	ฝายที่ 1	59.34	0.00	-540.00	-160.22	330.23
สุภาพ	ฝายที่ 2	69.09	78.05	-44.05	34.36	68.06
ชุมชน	ฝายที่ 3	78.05	-376.47	86.45	-70.66	264.88
ที่ทำการ เทศบาล	ฝายที่ 1	100.00	-21.90	-77.27	0.28	90.69
	ฝายที่ 2	97.25	-242.11	-131.43	-92.10	173.07
	ฝายที่ 3	96.59	-222.54	-338.64	-154.86	225.37
โรงงาน ขนมจัน	ฝายที่ 1	70.29	55.74	96.88	74.30	20.86
	ฝายที่ 2	89.64	60.33	-152.94	-0.99	132.41
	ฝายที่ 3	78.19	66.67	16.00	53.62	33.09

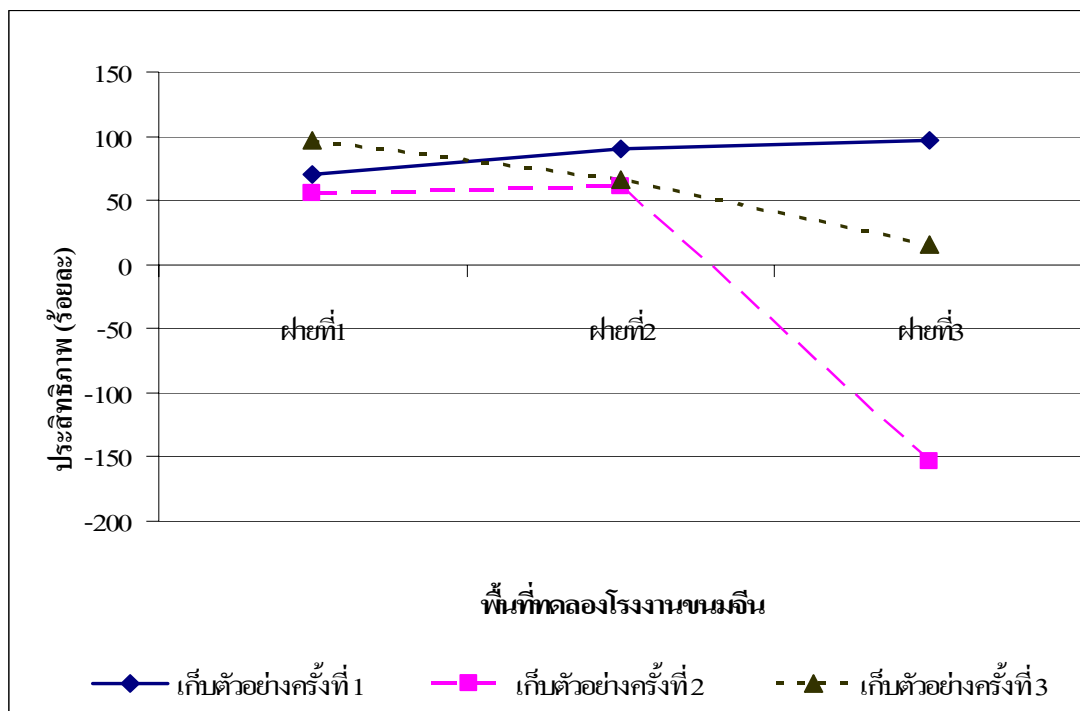
หมายเหตุ : * ครั้งที่ 1 วันที่ 21 มกราคม 2551 , ครั้งที่ 2 วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551, ครั้งที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2551



ภาพที่ 30 ประสิทธิภาพการบำบัดปรอทด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียงในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน



ภาพที่ 31 ประสิทธิภาพการบำบัดปรอทด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียงในพื้นที่ทำการเทศบาล



ภาพที่ 32 ประสิทธิภาพการบำบัดปรอทด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียงในพื้นที่โรงงานขนมเงิน

6.3 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณปรอทบริเวณหน้าและหลังฝายทุกจุด และ ประสิทธิภาพที่ได้ในแต่ละฝาย แต่ละพื้นที่ที่ทดลอง และระหว่างครั้งทดลองที่มีต่อการบำบัดปรอท

ศึกษาปริมาณความแตกต่างของปรอทระหว่างหน้าและหลังฝายในทุกพื้นที่โดยใช้วิธี pair-sample t – test สำหรับประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในน้ำเสียชุมชน โดยการใช้ฝายหินเรียงในการเก็บตัวอย่างแต่ละฝาย โดยนำผลที่ได้มาทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพความแตกต่างระหว่างฝาย ระหว่างพื้นที่ และระหว่างครั้งในการเก็บตัวอย่างของแต่ละพื้นที่ที่ทดลอง ต่อประสิทธิภาพการบำบัดปรอท โดยการทดสอบความแตกต่างในทุกค่าข้อมูลได้ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One – Way Analysis of Variance) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ $\alpha = 0.05$ และเมื่อพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทำการทดสอบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.05$ เพื่อทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในแต่ละฝาย ในแต่ละพื้นที่ และในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่าง ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพที่ได้ ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่โดยการวิเคราะห์ทางสถิติดังนี้

1) การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหน้าและหลังฝายปรอท

จากการทดสอบความแตกต่างระหว่างหน้าและหลังฝายในการบำบัดปรอทของฝายในทุกพื้นที่ที่ทดลอง โดยนำค่าปริมาณปรอทที่เข้าและออกจากฝายในตารางที่ 31 มาใช้ในการวิเคราะห์ โดยผลของการทดสอบในตารางที่ 33 โดยมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถอธิบายได้ดังนี้

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 33 พบว่าความแตกต่างของปริมาณปรอทหน้าฝายกับปริมาณปรอทหลังฝายไม่มีความแตกต่างที่นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ยกเว้นในพื้นที่โรงงานขนมจลินในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ที่มีความแตกต่างกันระหว่างหน้าและหลังฝายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เนื่องจากมีปริมาณการเข้าของปรอทมากกว่าหลังออกแตกต่างกันมากจึงทำให้ค่าออกมามีความแตกต่างทางสถิติ สำหรับพื้นที่อื่นๆ นั้นไม่พบความแตกต่างกันเนื่องจากปริมาณปรอทหน้าและหลังมีปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 33 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณปรอทบริเวณหน้าและหลังในแต่ละพื้นที่แต่ละครั้ง โดยวิธีการเปรียบเทียบแบบ Paired – Samples t - test

พื้นที่ทดลอง	ครั้งที่	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	t	df	Sig. (2-tailed)
ศูนย์สุขภาพชุมชน	1	0.0158	0.0212	0.0123	1.2862	2	0.327
	2	0.0000	0.0064	0.0037	0.000	2	1.000
	3	0.0005	0.0114	0.0066	0.081	2	0.943
ที่ทำกรเทศบาล	1	0.1206	0.1556	0.0898	1.342	2	0.312
	2	-0.0089	0.0071	0.0041	-2.161	2	0.163
	3	-0.0076	0.0063	0.0036	-2.091	2	0.172
โรงงานขนมจลิน	1	0.0294	0.0068	0.0039	7.488	2	0.017
	2	0.01043	0.0088	0.0051	2.047	2	0.177
	3	0.00147	0.0044	0.0026	0.572	2	0.625

หมายเหตุ : ครั้งที่ 1 คือ วันที่ 21 มกราคม 2551 ,ครั้งที่ 2 คือ วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551 ,ครั้งที่ 3 คือ วันที่ 10 มีนาคม 2551

2) การเปรียบเทียบปริมาณความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่าง ฝ่ายของแต่ละพื้นที่

จากการทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทที่พบในแต่ละฝ่าย ทั้ง 3 ฝ่ายของแต่ละพื้นที่ทดลอง โดยนำค่าประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในแต่ละฝ่ายจากการเก็บ ตัวอย่างทั้ง 3 ครั้งในตารางที่ 32 มาใช้ในการวิเคราะห์ ผลจากการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของ ประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในฝ่ายที่ 1 ถึงฝ่ายที่ 3 ของแต่ละพื้นที่ทดลองเพื่อที่จะทำให้ทราบถึง ความแตกต่างของฝ่ายแต่ละฝ่ายที่ใช้ในการบำบัดปรอทว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยผลการ ทดสอบทางสถิติแสดงได้ในตารางผนวกที่ 16 ถึงตารางผนวกที่ 18 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทของแต่ละฝ่ายใน แต่ละพื้นที่ทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 34 ทำให้เห็นว่าความแตกต่างของประสิทธิภาพของฝ่าย ระหว่างฝ่ายในแต่ละพื้นที่ทดลองไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดปรอทโดยไม่มี ความแตกต่างอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ในทุกพื้นที่ทดลอง โดยเมื่อนำค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพ การบำบัดตะกั่วมาเปรียบเทียบกันระหว่างฝ่ายในแต่ละพื้นที่ทดลองด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน แบบ DMRT ดังตารางที่ 35 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในแต่ละฝ่ายของพื้นที่ทดลองศูนย์ สุขภาพชุมชน พื้นที่ทำการเทศบาล และพื้นที่โรงงานขนมนั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทำให้สรุปให้เห็นได้ว่าความแตกต่างของฝ่ายแต่ละฝ่ายไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ ในการบำบัดปรอทของแต่ละพื้นที่ทดลอง

ตารางที่ 34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างฝ่ายในพื้นที่ ศูนย์สุขภาพชุมชน ถึงพื้นที่โรงงานขนมนั้น

แหล่งความ แปรปรวน	ศูนย์สุขภาพชุมชน	ที่ทำการเทศบาล	โรงงานขนมนั้น
ระหว่างฝ่าย	0.464 ^{ns}	0.616 ^{ns}	0.714 ^{ns}

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ 35 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างฝายของแต่ละพื้นที่ ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT

พื้นที่ทดลอง	ฝายที่		
	1	2	3
พื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน	-160.22 ^a	34.36 ^a	-70.66 ^a
พื้นที่ทำการเทศบาล	0.28 ^a	-92.10 ^a	-154.86 ^a
พื้นที่โรงงานนมจีน	74.30 ^a	-0.99 ^a	53.62 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่มุมบนต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าประสิทธิภาพ การบำบัดเฉลี่ยของแต่ละฝายในพื้นที่ทดลองเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3) การเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการบำบัดปรอทระหว่างพื้นที่ทดลองในแต่ละฝาย

จากการทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในแต่ละพื้นที่ทดลองที่ฝายทดลองเดียวกัน โดยนำค่าประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในแต่ละพื้นที่ทดลองจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้ง โดยใช้ผลจากตารางที่ 32 มาใช้ในการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทของพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชน ที่ทำการเทศบาล และพื้นที่ทดลองโรงงานนมจีน ที่บริเวณฝายตัวเดียวกัน เพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างของพื้นที่ทดลองว่ามีความแตกต่างของการบำบัดปรอทหรือไม่ โดยผลการทดสอบทางสถิติแสดงได้ในตารางผนวกที่ 25 ถึงตารางผนวกที่ 27 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทของแต่ละพื้นที่ทดลองที่ฝายทดลองตัวเดียวกันแสดงไว้ในตารางที่ 36 ทำให้เห็นถึงความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในระหว่างพื้นที่ทดลองที่ทำการทดสอบในฝายเดียวกัน ซึ่งพบว่าผลที่ได้ในแต่ละพื้นที่ทดลอง ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดปรอทที่ฝายเดียวกันและไม่มีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ในทุกฝายทดลอง สำหรับการนำค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการบำบัดปรอทมาเปรียบเทียบกันระหว่างพื้นที่ทดลองในแต่ละฝายด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ DMRT ดังตารางที่ 37 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในแต่ละพื้นที่ทดลองของฝายที่ 1, ฝาย

ที่ 2 และฝ่ายที่ 3 นั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทำให้สรุปให้เห็นได้ว่า ความแตกต่างของพื้นที่ทดลองในแต่ละพื้นที่ ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดปรอทที่ฝาย เดียวกัน

ตารางที่ 36 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างพื้นที่ใน ฝ่ายที่ 1 ถึง ฝ่ายที่ 3

แหล่งความแปรปรวน	ฝ่ายที่1	ฝ่ายที่2	ฝ่ายที่3
ระหว่างพื้นที่	1.099 ^{ns}	0.735 ^{ns}	0.811 ^{ns}

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ 37 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างพื้นที่ในแต่ละ ฝ่าย ภายหลังจากวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT

ฝ่ายที่	พื้นที่ทดลอง		
	ศูนย์สุขภาพชุมชน	ที่ทำการเทศบาล	โรงงานขนมจีน
ฝ่ายที่1	-160.22 ^a	0.28 ^a	74.30 ^a
ฝ่ายที่2	34.36 ^a	-92.10 ^a	0.99 ^a
ฝ่ายที่3	-70.66 ^a	-154.86 ^a	53.62 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่มุมบนต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าประสิทธิภาพ การบำบัดเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่ที่ฝายเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4) การเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการบำบัดปรอทระหว่างครั้ง ในการทดลอง

การทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการบำบัดปรอทระหว่างครั้งในแต่ละพื้นที่ทดลองโดยวิเคราะห์ผลทีละพื้นที่ทดลองจากประสิทธิภาพของทั้ง 3 ฝ่ายโดยใช้ผลจากตารางที่ 32 มาใช้ในการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทของครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ที่พื้นที่ทดลองเดียวกัน เพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างของระยะเวลาในการทดลองว่ามีผลต่อการบำบัดปรอทของแต่ละพื้นที่หรือไม่ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 34 ถึงตารางผนวกที่ 36 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในตารางที่ 38 พบว่าความแตกต่างระหว่างครั้งมีผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดปรอทของพื้นที่ทำการทดสอบ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สำหรับพื้นที่อื่นๆ นั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการบำบัดปรอทระหว่างครั้งที่ทำการทดลองของพื้นที่ต่างๆ ภายหลังจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี DMRT ในตารางที่ 39 พบว่าในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชนและพื้นที่โรงงานขนมจีนประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในแต่ละครั้งไม่มีความแตกต่างกัน แต่ในพื้นที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดปรอทในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกัน โดยในครั้งที่ 1 จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยจากค่าในตารางที่ 31 จะเห็นได้ว่าการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ของที่ทำการทดสอบค่าที่ได้เป็นค่าบวกทั้งหมดซึ่งแตกต่างจากค่าอื่นๆ ที่เป็นลบ เนื่องจากระยะเวลาที่นานขึ้นการดูดตันของฝายเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงในการเก็บตัวอย่างครั้งต่อไป

ตารางที่ 38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างครั้งใน
พื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน ถึงพื้นที่โรงงานขนมจีน

แหล่งความแปรปรวน	พื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน	พื้นที่ทำการทดสอบ	พื้นที่โรงงานขนมจีน
ระหว่างครั้ง	0.782 ^{ns}	6.493 [*]	1.324 ^{ns}

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ 39 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในแต่ละครั้งของพื้นที่
ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี DMRT

พื้นที่ทดลอง	ครั้งที่		
	1	2	3
พื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน	68.83 ^a	-99.47 ^a	-165.8 ^a
พื้นที่ทำการเทศบาล	97.95 ^b	-162.18 ^a	-182.45 ^a
พื้นที่โรงงานนมจีน	79.37 ^a	60.91 ^a	-13.35 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่มุมบนต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าประสิทธิภาพ
การบำบัดเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นได้ว่า การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ฝายหินเรียง
สามารถบำบัดปรอทได้เล็กน้อยโดยพบว่า โดยปริมาณปรอทที่พบบริเวณฝายส่วนใหญ่ไม่มีผลต่อ
ประสิทธิภาพการบำบัดปรอทยกเว้นในพื้นที่โรงงานนมจีนในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ที่มีความ
แตกต่างกัน โดยประสิทธิภาพการบำบัดปรอทที่ฝายต่างๆ ในแต่ละพื้นที่ทดลองและประสิทธิภาพการ
บำบัดที่พื้นที่ต่างๆ บริเวณฝายเดียวกันพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับระยะเวลาในการ
ทดลองมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดปรอทโดยในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 หรือสัปดาห์ที่ 4 ในพื้นที่
ทดลองที่ทำการเทศบาลมีประสิทธิภาพที่แตกต่างจากครั้งอื่นๆ โดยเมื่อดูจากตารางที่ 31 และ 32 แสดง
ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ของทุกพื้นที่ทดลองสามารถบำบัดปรอทได้ดีที่สุดซึ่ง
ค่าที่ได้จะเป็นค่าบวก โดยสรุปได้ว่าความแตกต่างของฝายและพื้นที่ทดลองไม่มีผลต่อการบำบัดปรอท
แต่ความแตกต่างของระยะเวลาในการทดลองมีผลต่อการบำบัดปรอท

7. ผลการวิเคราะห์จุลินทรีย์บริเวณฝายหินเรียง

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างก้อนหินที่มีการเกาะติดของจุลินทรีย์(biofilm) โดยทำการส่ง
วิเคราะห์ที่ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีวิธีการตรวจวิเคราะห์
โดยทำการเก็บตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์รอบก้อนหินที่มาจากฝายหินเรียงที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน
ในห้วยปลัดแก้วของเทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง ทำการสุ่มเชื้อจากก้อนหิน

ทั้งหมด 10 จุด รวมน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ 10 กรัม ทำการเจือจางตัวอย่าง แล้วนำไปทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อต้องการหาชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถระบุได้ในระดับทางความหลากหลายที่ระดับ Genus ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างจะได้ผลดังนี้

7.1 ปริมาณจุลินทรีย์ที่พบทั้งหมดบริเวณก้อนหิน พบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด = 1.8×10^6 CFU(โคโลนี)/ gm

7.2 ชนิดของจุลินทรีย์ที่พบมากที่สุดในระดับ 1 เป็นจุลินทรีย์ที่มีการสร้างสปอร์รูปร่างเป็นท่อนและกลม(Endospore forming Rods and Cocci) อยู่ในกลุ่ม แกรมบวก ซึ่งชนิดที่พบคือจุลินทรีย์ที่อยู่ใน Genus Bacillus ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ดำรงชีวิตในสภาวะที่มีออกซิเจน (aerobic)

7.3 ชนิดของจุลินทรีย์ที่พบมากที่สุดมาในระดับ 2 เป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่มีการสร้างสปอร์เป็นรูปท่อน(Rod shaped) จัดอยู่ในกลุ่มแกรมลบเป็นจุลินทรีย์ที่มีการใช้ซัลเฟอร์ในการดำรงชีวิต (organisms metabolizing sulfur) ซึ่งชนิดที่พบคือจุลินทรีย์ที่อยู่ใน Genus Thiobacillus ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ดำรงชีวิตในสภาวะมีและไม่มีออกซิเจน(facultative)

7.4. ชนิดของจุลินทรีย์ที่พบในระดับ 3 เป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่อยู่ในกลุ่มที่สร้างสปอร์แบบ (Rods and Cocci) จัดอยู่ในกลุ่ม Gram negative ซึ่งชนิดที่พบคือจุลินทรีย์ที่อยู่ใน Genus Pseudomonas ซึ่งเป็น จุลินทรีย์ในกลุ่มที่ดำรงชีวิตในสภาวะที่มีออกซิเจน (aerobic)

วิจารณ์

1. การบำบัดตะกั่ว

โดยในการบำบัดตะกั่วของทุกฝ่ายในทุกพื้นที่ทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วส่วนใหญ่จะได้ผลดีในฝ่ายที่ 2 และ 3 เนื่องจากฝ่ายทั้งสองเกิดการดูดตันของตะกอนดินขนาดเล็กในตัวฝายน้อยกว่าฝ่ายที่ 1 จึงทำให้การสัมผัสของตะกั่วกับหินปูนหรือจุลินทรีย์ที่สามารถช่วยในการบำบัดตะกั่วเกิดขึ้นได้ดีกว่าฝ่ายอื่นๆ ปริมาณตะกั่วจากการบำบัดสามารถบำบัดได้ดีที่สุดในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และลดต่ำลงตามระยะเวลาที่นานขึ้นของการบำบัดเนื่องจากระยะเวลาที่นานขึ้นทำให้การดูดตันและการเสื่อมสภาพของตัวฝายมีเพิ่มมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพลดลง สำหรับพื้นที่ทดลองที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดตลอดระยะเวลาทดลองคือพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาล เนื่องจาก

บริเวณนี้มีความลาดชันของพื้นที่น้อยกว่าพื้นที่ที่ทดลองอื่นๆ ทำให้ความสามารถในกักน้ำไว้ก่อนไหลผ่านตัวฝายเกิดขึ้นนานกว่าพื้นที่อื่นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าพื้นที่อื่น

สำหรับกระบวนการบำบัดตะกั่วส่วนที่มาจากจุลินทรีย์มาจากการยึดเกาะของจุลินทรีย์ที่พื้นผิวของก้อนหินหรือไบโอฟิล์ม โดยจุลินทรีย์เหล่านั้นสามารถดูดซับโลหะตะกั่วได้ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถสร้างสาร EPS เป็นสารรูปแบบเมือกซึ่งมีหมู่ของคาร์บอกซิล, ซัลเฟต, ฟอสเฟต และอะมิโนอยู่บริเวณนี้ ทำให้เกิดแรงดูดของประจุไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้น โดยเฉพาะโลหะที่มีประจุขนาดใหญ่ เช่น ตะกั่ว ไวที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวก เช่นพวก *Bacillus subtilis* ได้ และยังตรงกับงานวิจัยของ Malik (2003) พบว่า *Pseudomonas aeruginosa* สามารถจับกับตะกั่วได้ถึง 80% ในระยะเวลา 2 วันและ *Bacillus firmus* สามารถจับตะกั่วได้ถึง 98.3 % (Salehizadeh and Shojaosadati, 2003) ซึ่งบริเวณก้อนหินที่ทำการทดลองนั้นจะพบจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดนี้ โดยจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถขับสารอินทรีย์ออกมา เช่น พวก ซัลไฟด์, คาร์บอเนต หรือฟอสเฟตไอออนออกมาได้ ซึ่งสามารถไปจับกับตะกั่ว Pb(II) ได้ สำหรับอีกกระบวนการหนึ่งในการตกตะกอนตะกั่วที่เป็นกระบวนการจากธรรมชาติเป็นการตกตะกอนโดยไอออนที่อยู่ในน้ำ จากการที่หินปูนที่ใช้ในการสร้างฝายมีองค์ประกอบเป็น $\text{Ca}(\text{MgCO}_3)$ ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้แคลเซียม(Ca^{2+}), แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ออกมา ทำให้ตะกั่ว (Pb^{2+}) สามารถจับกับคาร์บอเนตได้และตกตะกอนลงพื้นท้องน้ำต่อไป อีกทั้งเมื่อพีเอชสูงขึ้นตะกั่วจะตกตะกอนอยู่ในรูปของ PbOH_2 , $\text{Pb}(\text{PO}_4)_2$ และ PbCO_3 ได้ (Farrah and Pickering, 1977) และอีกกระบวนการหนึ่งเป็นการตกตะกอนร่วมกับตะกอนดินบริเวณพื้นท้องน้ำในพื้นที่ทดลอง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตารางผนวกที่ 7 เกี่ยวกับปริมาณตะกั่วในดินตะกอนพบว่าปริมาณตะกั่วสะสมในตะกอนบริเวณตั้งแต่หลังฝายที่ 1 เป็นต้นไปมีปริมาณตะกั่วเพิ่มขึ้นเนื่องจากในช่วงระหว่างฝายทดลองน้ำที่ไหลผ่านตัวฝายซาลงส่งผลให้เกิดการกักเก็บน้ำไว้ระหว่างฝายทำให้การสัมผัสของตะกอนดินกับตะกั่วเกิดขึ้นนานขึ้นทำให้ปริมาณตะกั่วสามารถลดลงได้ซึ่งสอดคล้องกับ Onodera (1985) ได้รายงานว่ามีปริมาณตะกั่วในดินตะกอนนั้นจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอินทรีย์ในดินด้วยเช่นกัน โดยในดินตะกอนที่มีสารอินทรีย์สูงสามารถดึงตะกั่วได้ และซัลไฟด์หรือคาร์บอเนตสามารถตกตะกอนตะกั่วเป็นเกลือได้ด้วย(Rashid and Leonard, 1973) โดยจากตารางผนวกที่ 7 ซึ่งแสดงถึงปริมาณตะกั่วในดินตะกอนในแต่ละจุดพบว่าบริเวณที่มีตะกอนดินเช่นพื้นที่ทำการเทศบาลและพื้นที่โรงงานขนมจिनมีปริมาณตะกั่วสะสมเพิ่มขึ้นในทุกครั้ง โดยตะกอนจะสะสมตะกั่วได้ดีที่สุดในพื้นที่ทำการเทศบาลซึ่งมีสภาพพื้นท้องน้ำเป็นดินเหนียวปนทราย สอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วที่ดีที่สุดในพื้นที่ดังกล่าว การสะสมตะกั่วรองลงมาเป็นพื้นที่โรงงานขนมจिनซึ่งมีสภาพแบบดินทรายเป็นส่วนใหญ่ สำหรับในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชนซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่มีตะกอนดินบริเวณฝายทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการ

บำบัดตะกั่วที่ฝายต่างๆ ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 จะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับพื้นที่อื่น แต่ในการเก็บตัวอย่างในครั้งอื่นๆ พบว่าประสิทธิภาพที่ฝายเดียวกันของพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชนประสิทธิภาพจะเริ่มลดลงเนื่องมาจากการที่ฝายเกิดการอุดตันทำให้น้ำเสียไหลผ่านฝายโดยมีการสัมผัสกับไบโอฟิล์มได้น้อยลงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้อยลงและไม่มีตะกอนดินที่จะช่วยในดูดซับตะกั่ว ทำให้น้ำไหลผ่านตัวฝายไปโดยไม่ได้รับการบำบัดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

สำหรับปริมาณตะกั่วในน้ำเสียของทุกฝายทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วที่ทำการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงกว่าการเก็บตัวอย่างครั้งอื่นๆ โดยประสิทธิภาพที่ลดลงเกิดมาจากการที่ตะกอนดินและเศษขยะขนาดเล็กเข้าไปอุดตันภายในฝายเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทดลองที่นานขึ้น ทำให้น้ำเสียไม่สามารถไหลผ่านเข้าภายในตัวฝายได้แต่จะไหลล้นข้ามตัวฝายไป ทำให้กลไกการบำบัดเกิดได้น้อยลง ทำให้น้ำเสียสัมผัสกับไบโอฟิล์มได้น้อยลงทำให้การดูดซับโลหะหนักลดลงด้วย และปริมาณดินตะกอนที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้เกิดการทับถมตัวฝายส่งผลให้การบำบัดลดลงด้วย

2. การบำบัดสารหนู

โดยในการบำบัดสารหนูทุกฝายและทุกพื้นที่ทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูส่วนใหญ่จะให้ผลดีที่สุดที่ฝายที่ 2 และ 3 เนื่องจากทั้งสองฝายมีปริมาณการอุดตันของสิ่งสกปรกน้อยกว่าฝายแรกทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าฝายแรกในการบำบัดพบว่าปริมาณสารหนูจะสามารถบำบัดได้ดีที่สุดในทดลองครั้งที่ 1 และจะลดต่ำลงตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น สำหรับพื้นที่ทดลองที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดตลอดระยะเวลาการทดลองคือพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาลเนื่องจากบริเวณนี้มีความลาดชันของพื้นที่น้อยกว่าพื้นที่ทดลองอื่นๆ ทำให้ความสามารถในกักน้ำไว้ก่อนไหลพ้นตัวฝายเกิดขึ้นนานกว่าพื้นที่อื่น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าพื้นที่อื่น เช่นเดียวกับการบำบัดตะกั่ว

สำหรับความสามารถของการบำบัดสารหนูของแต่ละฝายเกิดจากการที่ในช่วงระยะเริ่มต้นการทดลองการไหลของน้ำเสียผ่านตัวฝายยังช้าอยู่เนื่องจากยังไม่มีตะกอนขนาดเล็กอุดตันตัวฝาย อีกทั้งน้ำเสียที่ไหลมาปะทะกับตัวฝายมีความเร็ว น้ำลดลงทำให้เกิดการตกตะกอนของสารหนูกับตะกอนดินได้ อีกทั้งตัวฝายมีไบโอฟิล์มที่ยึดเกาะอยู่ทำให้สารหนูถูกดูดซับเข้าไปในเซลล์ได้ โดยในช่วงเริ่มต้นนั้นปริมาณสารหนูที่สะสมอยู่ในตะกอนดินหรือในชั้นของไบโอฟิล์มยังมีน้อยอยู่ ทำให้มีความสามารถ

ที่จะดูดซับและตกตะกอนสารหนูไว้ได้ โดยในการตกตะกอนของสารหนุนั้นจะสามารถตกตะกอนกับไอออนของเหล็ก, กรดอะมิโน, กรดฮิวมิก และสารลิแกนด์ได้ อีกทั้งสารหนุยังสามารถตกตะกอนร่วมกับสารประกอบต่างๆ ที่มีส่วนประกอบของแคลเซียม, กำมะถัน, เหล็ก, อะลูมิเนียมและแบเรียมได้ด้วย เช่นในการวิจัยของ Roman Rose *et al.* (2006) ได้ใช้แคลไซต์ ซึ่งมีองค์ประกอบของแคลเซียมอยู่ ทำให้สามารถดูดซับสารหนูที่อยู่ในรูปของ $H_3AsO_3^0$ ได้ที่พีเอช 7 – 9 ซึ่งมาจากการที่ $H_3AsO_3^0$ เข้าแทนที่คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ในแคลไซต์ ซึ่งแตกต่างจากตะกั่วที่มีการจับกับคาร์บอเนตแทนที่แคลเซียม อีกทั้งสารหนูในรูปของอาร์ซีเนต (AsO_4^{3-}) ที่มีนิสคล้ายกับฟอสเฟตซึ่งสามารถถูกตรึงด้วยแร่ดินเหนียว, ฮิวมัส, แคลเซียมและออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมได้อีกด้วย(ศุภมาส, 2539) ซึ่งจากการทดลองภาคสนามพบว่าพีเอชที่วัดค่าได้อยู่ในช่วง 6 – 7 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวิจัยของ Roman Rose *et al.* (2000) ทำให้ทราบได้ว่าการตกตะกอนเกิดขึ้นจริงจากการสลายตัวหินปูนที่ใช้ในการทดลอง สำหรับการดูดซับสารหนุนั้นส่วนใหญ่จะถูกดูดซับบนพื้นผิวของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

จากการตกตะกอนของสารหนุนั้นได้ทำการตรวจวิเคราะห์และแสดงผลไว้ในตารางผนวกที่ 8 แสดงให้เห็นได้ว่ามีปริมาณสารหนูในสะสมดินตะกอนได้ โดยมีการเพิ่มปริมาณขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งเกิดจากการสะสมโดยดินตะกอน สารอินทรีย์ หรือหินปูนที่ได้กล่าวมาข้างต้นและมีความสามารถดูดซับได้ด้วยจุลินทรีย์ในไบโอฟิล์มได้อีกส่วนหนึ่ง สำหรับสารหนูที่มีการไหลผ่านไบโอฟิล์มไปนั้นเป็นสารหนูที่เหลืออยู่ในรูปของสารหนูที่มีพิษน้อยหรือไม่มีพิษ เกิดจากกระบวนการที่จุลินทรีย์ปั๊มโลหะหนักเข้าไปในเซลล์ (metal efflux pump) โดยปั๊มสารหนูที่อยู่ในรูปของสารหนูอาร์ซีเนต (AsO_4^{3-}) เข้าไปในเซลล์แล้วเปลี่ยนรูปโดยใช้พลังงานภายในเซลล์เปลี่ยนเป็นสารหนูที่มีพิษน้อยที่อยู่ในรูปของ AsO_2 ได้และถูกตรึงที่พีเอช 7 – 9 ได้เช่นกัน (Outen *et al.*, 2000) โดยสารหนูที่ถูกตรึงอยู่จะปลดปล่อยออกมาได้ยาก ทำให้ดินตะกอนไม่สามารถจะดูดซับสารหนูได้เพิ่มขึ้นแล้วในพื้นที่ที่มีดินตะกอน เช่นพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาลและพื้นที่ทดลองโรงงานขนมจีนสำหรับความสามารถในการลดปริมาณสารหนูที่ลดลงของตัวฝายแต่ละฝายในระยะเวลาทดลองที่นานขึ้นนั้นเกิดจากความสามารถในเก็บกักน้ำของตัวฝายน้อยลงจากการอุดตันของตัวฝาย ทำให้น้ำไหลผ่านฝายรวดเร็วขึ้น การตกตะกอนของสารหนูกับอนุภาคนาโนเล็กต่างๆ ที่ล่องลอยอยู่ในน้ำจะเกิดลดลงตามมาด้วย และยังส่งผลให้การสัมผัสกับจุลินทรีย์บนไบโอฟิล์มน้อยลง

3. การบำบัดปรอท

โดยในการบำบัดปรอททุกฝ่ายและทุกพื้นที่ทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดปรอทส่วนใหญ่จะให้ผลดีที่สุดใฝายที่ 2 และ 3 เช่นเดียวกับการบำบัดตะกั่วและสารหนู เนื่องจากทั้งสองฝ่ายมีความสกปรกน้อยกว่าฝ่ายแรก สำหรับระยะเวลาในการทดลองนั้นจะเห็นได้ว่าทุกพื้นที่ทดลองในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ประสิทธิภาพในทุกฝ่ายจะให้ค่าเป็นบวกทั้งหมด และค่าประสิทธิภาพจะเริ่มลดลงในครั้งต่อไป สำหรับพื้นที่ทดลองที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดคือพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาล ซึ่งมีความลาดชันของพื้นที่น้อยกว่าพื้นที่ทดลองอื่นๆ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าพื้นที่อื่นๆ สำหรับในพื้นที่ทดลองโรงงานแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าพื้นที่ที่ทำการเทศบาล แต่ประสิทธิภาพการบำบัดที่เป็นบวกมากกว่าพื้นที่อื่นกล่าวคือระยะเวลาในการทดลองที่นานขึ้นของการบำบัดปรอทของพื้นที่โรงงานขมเงินจะมีประสิทธิภาพดีกว่าพื้นที่อื่นที่ประสิทธิภาพเป็นค่าลบมากขึ้น ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 และ 3 โดยประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าพื้นที่อื่นจากการที่โรงงานผลิตขมเงินมีการปล่อยน้ำทิ้งจากการผลิตที่มีปริมาณของตะกอนจำนวนมากทำให้ตะกอนสามารถจับกับปรอทตกตะกอนได้เร็วและดีกว่าพื้นที่อื่น

โดยมีการวิจัยเกี่ยวกับการลดลงของปรอทในงานวิจัยของ Bothner and Carpenter (1972) พบว่า 50 – 70% ของปรอทไอออนสามารถเกาะติดกับวัตถุแขวนลอยที่อยู่ในน้ำได้ และ Hamez (1969) รายงานไว้ว่า สารแขวนลอยในน้ำจะทำหน้าที่คล้ายๆ กับตัวจับตะกอนในน้ำ ซึ่งทำให้ในการทดลองพบว่าบริเวณจุดโรงงานขมเงินมีการบำบัดได้ดีกว่าจุดอื่นๆ โดยส่วนหนึ่งมาจากบริเวณพื้นที่โรงงานขมเงินมีปริมาณของแข็งละลายน้ำและค่าการนำไฟฟ้า(ตารางผนวกที่ 5 และ 6)ที่มากกว่าพื้นที่อื่นๆ จากการที่โรงงานขมเงินปล่อยน้ำซึ่งมีเบี่ยงออกมามาก ซึ่งเป็นสารแขวนลอยในน้ำ ทำให้องค์ประกอบของเบี่ยงสามารถจับกับปรอทในน้ำได้ตามหลักการของ Bothner and Carpenter (1972) และ Hamez (1969) สำหรับฝ่ายในพื้นที่อื่นๆ ที่มีการทดลองนั้นพบว่าสามารถบำบัดได้ดีที่สุดในครั้งที่ 1 และจะลดปริมาณการเก็บตัวอย่างครั้งต่อไป โดยในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชนนั้นจะสามารถบำบัดได้น้อยที่สุดเนื่องจากไม่มีตะกอนดิน(ตารางผนวกที่ 9) และมีปริมาณสารแขวนลอยในน้ำและค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่าพื้นที่อื่นๆ ซึ่งทำให้สามารถดูดซับปรอทให้ตกตะกอนลงมาได้ในปริมาณที่น้อย ซึ่งแตกต่างจากพื้นที่โรงงานขมเงินมีปริมาณปรอทในดินตะกอนมากที่สุด

สำหรับการสูญหายไปของปรอทนั้นเกิดขึ้นจากการที่ปรอทมีความสามารถในการละลายน้ำเป็น Hg^{2+} ได้ง่ายซึ่งมีความคล้ายคลึงกับแคลเซียม (Ca^{2+}) (Pekel *et al.* 1993) ซึ่งมีความสามารถคล้ายกับ

Pb^{2+} ที่สามารถจับกับคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) แล้วเกิดการตกตะกอนได้ และสามารถตกตะกอนร่วมกับ ซัลไฟด์ในน้ำได้อีกด้วย สำหรับการใส่จุลินทรีย์ที่เป็นไบโอฟิล์มในการบำบัดปรอทนั้น Outten *et al.* 2000 รายงานว่า *Pseudomonas aeruginosa* เป็นจุลินทรีย์ที่มีกลไกในการเปลี่ยน Hg^{2+} ที่เป็นตัวพิษให้เป็น สารระเหย Hg^0 ที่ไม่มีพิษได้โดยการซึมเข้าภายในเซลล์ใช้พลังงานเปลี่ยนรูปปรอทแล้วขับออกภายนอก เซลล์ได้ ซึ่ง Hg^0 นั้นสามารถสูญสลายไปในธรรมชาติได้เช่นกัน สำหรับการบำบัดปรอทในช่วง ระยะเวลาที่นานขึ้นนั้นส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากความสามารถในเก็บกักน้ำของตัวฝายลด น้อยลงจากการอุดตันของตัวฝายของเศษขยะหรือตะกอนดินขนาดเล็ก ทำให้น้ำไหลผ่านฝายรวดเร็วขึ้น การตกตะกอนของปรอทกับอนุภาคขนาดเล็กต่างๆ ที่ต้องลอยอยู่ในน้ำจะเกิดลดลงตามมาด้วย และยัง ส่งผลให้การสัมผัสกับจุลินทรีย์บนไบโอฟิล์มน้อยลงด้วย

4. การผันแปรของโลหะหนักในน้ำเสีย

การผันแปรของโลหะหนักในน้ำเสียบริเวณหน้าและหลังฝาย พบว่าในบางฝายทดลองจะ เห็นมีปริมาณโลหะหนักบริเวณหลังฝายน้อยกว่าบริเวณหน้าฝายถัดไปในพื้นที่เดียวกัน โดยส่วนใหญ่ จะพบในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของตะกอนบริเวณหน้าฝายแต่ละ ฝาย ที่ระยะเวลาทดลองนานขึ้นทำให้การสะสมตะกอนบริเวณหน้าฝายเพิ่มขึ้น ตะกอนเหล่านี้สามารถ ดูดซับโลหะหนักเอาไว้ได้ส่วนหนึ่ง และเมื่อตะกอนสูงขึ้นสามารถยกระดับน้ำให้สูงขึ้นตามมาด้วย เมื่อน้ำสูงขึ้นจะสามารถไหลผ่านตัวฝายส่งผลให้เกิดความเร็วของน้ำจากการไหลผ่านนี้ได้ อีกทั้งตะกอน ที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ความเร็วน้ำสูงขึ้นตามมาด้วย ซึ่งในขณะที่น้ำไหลผ่านตัวฝายไปนั้นฝายยังคงมีลักษณะ และความสูงเท่าเดิมทำให้ความเร็วของน้ำสามารถพัดพาตะกอนให้ฟุ้งกระจายออกจากพื้นที่องน้ำ บริเวณหลังฝายไปตกยังบริเวณหน้าฝายถัดไปได้จากการที่น้ำเกิดการปะทะกับตัวฝายทำให้ความเร็ว หยุดัน และสามารถตกตะกอนโลหะหนักได้ โดยในช่วงที่มีการเก็บตัวอย่างน้ำเสียแต่ละครั้งพบได้ว่า ส่วนใหญ่บริเวณหน้าฝายที่ 2 และ 3 มีปริมาณของโลหะหนักมากกว่าหลังฝายก่อนหน้า เนื่องจากการ เก็บตัวอย่างบริเวณหลังฝายการปนเปื้อนของตะกอนในน้ำตัวอย่างมีน้อยกว่าบริเวณหน้าฝายถัดไปซึ่ง เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนจากความเร็วน้ำที่เกิดขึ้น ทำให้เมื่อนำมาวิเคราะห์จะพบได้ว่าปริมาณ โลหะหนักบริเวณหน้าฝายถัดไปมีค่ามากกว่าหลังฝายก่อนหน้าเป็นส่วนใหญ่

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียชุมชนของเทศบาลตำบลห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง ศึกษาการบำบัดโลหะหนักได้แก่ ตะกั่ว, สารหนู และปรอท โดยใช้ฝายหินเรียงขนาด กว้าง 1 เมตรยาว 2.30 เมตร สูง 50 เซนติเมตรทำการทดลอง 3 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ฝาย ทำการทดลองใน 3 พื้นที่คือบริเวณศูนย์สุขภาพชุมชน ที่ทำการเทศบาล และโรงงานขนมจีน ใช้ระยะเวลา 3 เดือนเก็บตัวอย่างทุกสัปดาห์ที่ 4 ของเดือนเพื่อดูประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งผลที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนสามารถลดปริมาณตะกั่ว สารหนูและปรอทสามารถลดปริมาณลงได้ ซึ่งให้ผลได้ดีที่สุดในระยะเวลาการเก็บตัวอย่างสัปดาห์ที่ 4 โดยประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย (3 ฝาย) ของโลหะหนักแต่ละชนิดของแต่ละพื้นที่พบว่าในพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชนมีค่าสูงสุด เท่ากับ 15.77, 2.18 และ 68.83 ตามลำดับ พื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาล มีค่าเท่ากับ 46.48, 25.00 และ 97.95 และพื้นที่ทดลองโรงงานขนมจีน มีค่าเท่ากับ 14.77, 24.62 และ 79.37 ตามลำดับ โดยในพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาลมีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัดโลหะหนักแต่ละชนิดดีที่สุดและเมื่อพิจารณาชนิดของโลหะหนักที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดที่สุด คือ ปรอท ตะกั่ว และสารหนู ตามลำดับ

2. ผลของความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักทั้งสามชนิดที่หน้าและหลังฝายพบว่าส่วนใหญ่ในทุกฝายและทุกพื้นที่ไม่มีค่าความแตกต่างทางสถิติยกเว้นในการบำบัดปรอทของพื้นที่ทดลองโรงงานขนมจีนของการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ที่มีความแตกต่างทางสถิติของปริมาณปรอทที่พบบริเวณหน้าและหลังฝาย

3. ผลของความแตกต่างระหว่างฝายที่ 1 – 3 ที่ใช้ในการทดลองประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนักทั้งสามชนิดของแต่ละพื้นที่ทดลอง พบว่าความแตกต่างของฝายที่ 1 , 2 และ 3 ในแต่ละพื้นที่ทดลอง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทุกพื้นที่ทดลองซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าจำนวนฝายไม่มีผลต่อความแตกต่างต่อการบำบัดโลหะหนักทั้งสามชนิด ซึ่งในพื้นที่ที่จะนำฝายไปทดลองนั้นสามารถสร้างได้ตั้งแต่จำนวน 1 – 3 ฝายตามความต้องการ

4. ผลของความแตกต่างระหว่างพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชน พื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาล และพื้นที่ทดลองโรงงานขนมจิ้น ที่ฝ่ายทดลองเดียวกันพบว่าในการบำบัดตะกั่วและปรอทในทุกพื้นที่ ทดลองที่ฝ่ายตัวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่ในการบำบัดสารหนูที่ฝ่ายที่ 3 พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติของพื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง โดยในพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชนจะมีความแตกต่างกับพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาลและพื้นที่ทดลองโรงงานขนมจิ้นซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าพื้นที่ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชน จึงแสดงให้เห็นได้ว่าความแตกต่างของพื้นที่ทดลองมีผลต่อความสามารถเฉพาะในการบำบัดสารหนูเท่านั้น สำหรับการบำบัดโลหะหนักอื่นๆ นั้นพื้นที่ในการทดลองไม่มีผลต่อการบำบัด จึงสามารถนำระบบฝ่ายหินเรียงในการบำบัดไปใช้ในการบำบัดตะกั่วและปรอทในพื้นที่ต่างๆ ได้

5. ความแตกต่างของประสิทธิภาพที่ระยะเวลาในการทดลองที่แตกต่างกันของแต่ละพื้นที่ทดลอง โดยจะทำให้ทราบว่าระยะเวลาในการทดลองที่นานขึ้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักแต่ละชนิดหรือไม่ ซึ่งพบว่าระยะเวลาในการบำบัดสารหนูของแต่ละพื้นที่นั้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่ระยะเวลาในการบำบัดตะกั่วและปรอทพบมีความแตกต่างทางสถิติ โดยในการบำบัดตะกั่วของพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาลในการเก็บตัวอย่างสัปดาห์ที่ 4 ของเดือนแรก มีความแตกต่างทางสถิติจากการเก็บตัวอย่างครั้งอื่นๆ สำหรับการบำบัดปรอทพบความแตกต่างในพื้นที่ทดลองที่ทำการเทศบาลในการเก็บตัวอย่างสัปดาห์ที่ 4 ของเดือนแรก เช่นเดียวกับการบำบัดตะกั่ว เนื่องจากระยะเวลาในการทดลองที่นานขึ้นทำให้มีการดูดซับของตะกอนดินขนาดเล็กเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพของตัวฝายลดลงด้วย จึงทำให้เห็นได้ว่าระยะเวลาในการทดลองที่นานขึ้นมีผลต่อการบำบัดตะกั่วและปรอท

ข้อเสนอแนะ

1. ควรติดตั้งตะแกรงคักขยะที่มีความแข็งแรงเพื่อที่จะทำให้เศษซากพืชซากสัตว์ หรือเศษขยะ เช่น ถุงพลาสติก เข้ามาอุดตันในตัวฝาย และช่วยให้ตะแกรงสามารถใช้ได้นานตลอดการบำบัด

2. ควรลอกตะกอนดินหน้าและหลังฝายออกและควรทำความสะอาดตัวฝายทุก 4 สัปดาห์หรือ 1 เดือนหลังจากสร้างฝายแล้วเพื่อที่จะทำให้ประสิทธิภาพของฝายหินเรียงในการบำบัดน้ำเสียเกิดประสิทธิภาพที่ดีที่สุด เนื่องจากระยะเวลาในการบำบัดที่นานขึ้นทำให้ตะกอนดินที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักเพิ่มขึ้นทำให้ตะกอนส่วนหนึ่งถูกพัดพาออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และตะกอนขนาดเล็กทำให้ตัวฝายเกิดการอุดตันดังนั้นต้องมีการลอกตะกอนดินออกและทำความสะอาดเมื่อเกิดการอุดตันเพื่อให้ฝายมีประสิทธิภาพได้ตามเดิม

3. การจัดการกับกรวดทราย หรือดินตะกอนที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักไม่ให้ออกสู่ธรรมชาติของบริเวณพื้นที่ทดลอง คือควรสร้างบ่อคักตะกอนบริเวณหลังฝายสุดท้ายเพื่อป้องกันดินตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักหลุดออกจากบริเวณฝาย เนื่องจากการไหลน้ำที่เร็วจากการยกตัวสูงของน้ำทำให้มีการพัดพาตะกอนไปได้ไกลขึ้น ซึ่งจะทำให้ปนเปื้อนลงแหล่งน้ำธรรมชาติได้ จึงต้องมีการสร้างบ่อคักตะกอนและจะต้องมีการนำตะกอนดินที่สะสมในบ่อคักตะกอนออกทุกเดือนหรือเมื่อดินตะกอนเริ่มมีการตื่นขึ้น เพื่อป้องกันการพัดพาตะกอนออกนอกพื้นที่

4. สำหรับการขจัดโลหะหนักที่อยู่ในตะกอนดินให้ลดน้อยลงหรือหมดไป มีวิธีการที่ใช้กันมากในประเทศไทยคือการตากแห้งและหมักปุ๋ย (เกษม,2541) เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายและสามารถปรับสภาพได้ดีเนื่องจากในดินตะกอนมีธาตุอาหารของพืชที่สำคัญในการเจริญเติบโตของพืชได้โดยพืชในบางกลุ่มมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้ เรียกว่าเทคโนโลยีแบบ Phytoremediation ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการนำพืชขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ ซึ่งมีลักษณะเฉพาะหรือลักษณะพิเศษมาทำงานร่วมกับจุลินทรีย์ในดิน เพื่อทำความสะอาด บำบัดหรือรักษาสีสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อน ทั้งทางตรงและทางอ้อม (Khan, 2001) โดยมีกลไกที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายโลหะจากดินสู่รากพืช คือ การพา (convection) หรือ mass flow และ การแพร่ (diffusion) ซึ่งอยู่ในกระบวนการดูดซับน้ำเข้ามาทดแทนน้ำที่ระเหยไปจากการคายน้ำ ทำให้ไอออนของโลหะหนักเคลื่อนย้ายจากในดินตะกอนเข้าสู่ลำต้นของพืช โดยกระบวนการดูดซับโลหะหนักของพืชจะมีลักษณะคล้ายกับการดูดซับธาตุอาหารที่จำเป็นของพืชทั่วไปโดยพืชที่นำมาใช้ควรเป็นพืชที่มีความสามารถในการดูดซับไอออนได้ดีและไม่ควรที่เป็นพืชที่

นำมาบริโภคเนื่องจากสามารถสะสมในร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้ เช่น พืชในกลุ่มที่สามารถนำมาผลิตพลังงาน หรือกลุ่มไม้ดอกไม้ประดับ เป็นต้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. 2531. รายงานการศึกษาเรื่องการแพร่กระจายของสารหนูที่อำเภอรัตนบุรี
จังหวัดนครราชสีมา. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 53 หน้า

กองเศรษฐศาสตร์วิทยา กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม . 2544. แผนที่ทรัพยากรแร่.

กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2536. รายงานการใช้
ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดตรัง.

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 442 น.

เกษม จันทร์แก้ว. 2541. เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ . 784 น.

เกษม จันทร์แก้ว. 2551. หลักการจัดการลุ่มน้ำ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

คณิต ธนุธรรมเจริญ. 2546. เอกสารประกอบการฝึกอบรม หลักสูตร ฝ่ายต้นน้ำลำธารเพื่อการ
อนุรักษ์และพัฒนาที่ยั่งยืน. ฝ่ายศึกษาและพัฒนาป่าไม้ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้
อันเนื่องมาจากพระราชดำริ, เชียงใหม่.

จิระ จตุรานนท์. 2526. การกระจายตามแนวโค้งของโลหะหนักบางชนิดในดินตะกอนจากอ่าวไทย.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

จูไรรัตน์ เกิดดอนแฝก . 2537. กัมมิตจากสารพิษ. เศรษฐสตูดิโอ แอนด์กราฟิคดีไซน์. กรุงเทพฯ.

187 น.

- เทศบาลตำบลห้วยยอด. 2551. **ข้อมูลเทศบาลตำบลห้วยยอด**. กรมการปกครองส่วนท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย. แหล่งที่มา : <http://www.huaiyotcity.go.th/tassabal16.dot> , 13 มีนาคม 2551
- นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2545. **แบบจำลองคณิตศาสตร์การชะล้างพังทลายของดินและมลพิษตะกอนในพื้นที่ลุ่มน้ำ**. ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
- นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคณิตา ตั้งคณานุรักษ์. 2550. **หลักการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- เบญจภรณ์ ประภักดี. 2549. **จุลินทรีย์อาศัยกลไกอะไร เพื่อรอดชีวิตในสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อนโลหะหนัก**. วารสารสิ่งแวดล้อม 10, 3 (กค. – กย. 2549) 55 – 61, กรุงเทพฯ
- เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. 2525. **แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 290 หน้า
- เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. 2539. **แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 318 หน้า
- ผกา สุขเกษม. 2535. **ผลกระทบของโลหะหนักต่อสิ่งมีชีวิตและหลักการในการวิเคราะห์โลหะปริมาณน้อย**. 36 -53 . ในเอกสารประกอบการฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, กรุงเทพฯ
- ฝ่ายพัฒนาและผลิตสื่อ. 2541. **กฎกระทรวงฯประกาศกระทรวงฯ ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ออกตามความใน พรบ. ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535**. กองส่งเสริมและเผยแพร่ กรมส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ. 233 หน้า
- พัฒนา มูลพฤกษ์. 2539. **อนามัยสิ่งแวดล้อม**. เอ็น.เอส.แอล.พรินติ้ง, กรุงเทพฯ. 545 น.

- พิมล เรียววัฒนา และชัยวัฒน์ เจนวนิชย์. 2539. **เคมีสถานะแวดล้อม**. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 213 หน้า
- มณูญ ไพบุลย์ และสิทธิชัย อินทรงาม. 2520. **ระดับปรอทในปัสสาวะของประชากรที่อาศัยในน่านน้ำไทย**, น.78 ในรายงานการสัมมนาปัญหาผลกระทบของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย. สถาบันวิจัยสถานะแวดล้อม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ
- รพีพัฒน์ ชกัตประภาศ. 2542. **อาชีพเวชศาสตร์ ฉบับพิชวิทยา**, น.21 ในโครงการตำรากรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ. 207 หน้า
- ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2539. **ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 327 หน้า
- สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2538. **โครงการศึกษาเพื่อจัดลำดับความสำคัญการจัดการน้ำเสียชุมชน**. สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานทะเบียนราษฎร์. 2550. **ข้อมูลประชากรเทศบาลตำบลห้วยยอด**. เทศบาลตำบลห้วยยอด กรมการปกครองส่วนท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย แหล่งที่มา : <http://www.huaiyotcity.go.th/tassabal16.dot> เมื่อวันที่ 13 มี.ค. 2551
- สิทธิชัย ดันชนะศฤกษ์. 2528. **พิชวิทยาสิ่งแวดล้อม**. โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 428 น.
- สิทธิชัย ดันชนะศฤกษ์. 2541. **มลพิษสิ่งแวดล้อม**. โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุคนธ์ พูนพัฒน์. 2523. **สีร์ม โปรเทอิน ของคนงานโรงงานตะกั่ว**. สารศิริราช เล่มที่ 31(4) : 501

- สุธรรม เข้มนิยม และงามพิศ เข้มนิยม. 2519. เอกสารเศรษฐธรณีวิทยาเล่มที่ 12. กองเศรษฐธรณีวิทยา. กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ
- สุนทร ศุกวษ์. 2542. อาชีวเวชศาสตร์ ฉบับพิเศษวิทยา, น.14 ใน โครงการ ตำรากรมอนามัย. กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ. 207 หน้า
- อริชฐาน ทิมเข้มประเสริฐ. 2544. ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในดินตะกอนบริเวณป่าชายเลนที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- Amrhein, C. and J.E. Strong. 1990. **The effect of deicing salts on trace metal mobility in roadside soils.** J.Environ. Qual. 19: 738 – 748
- APHA, AWWA, and WEF. 1992. **Standard Method for the Examination of water and wastewater.** American Public Health Association, Washington, DC.
- Bennett, B.C. 1982. **The exposure Commitment method with application to environmental mercury.** Environmental Monitoring and Assessment, 2 : 85 – 93
- Berman, E. 1980. **Toxic Metals and their Analysis.** Cambridge University Press, London. 293 p.
- Beveridge, T.J. and R.G.E. Murray. 1980. **sites of metal deposition in the cell wall of Bacillus Subtilis.** Journal Bacteriol. 141: 876 – 887
- Biltton, gabriel. 1999. **Wastewater microbiology.** A John Woley and Son. Inc publication. USA
- Bother, M.H. and R. Carpenter. 1972. **Sorption Desorption Reactions of mercury with suspended matter in the Columcia river.** IAEA Press, Vienna. 110 p.

- Bruland, K. W. 1983. **In Chemical Oceanography**. Academic press, London, 230 p.
- Browne, F.X., J.B. Orr, T.J. Grizzard and B.L. Weand. 1982. **Water pollution. Journal WPCF.**
54(6) : 755 -763
- Bryan, G.W. 1969. **The absorption of zinc and other metals by the brown seaweed**
Laminaria digitata. Journal Marine Biol. ASS, U.K. 49 : 235 – 243
- Canstein H.Von, Y. Li, K.N. Timmis, W.D. Deckwer and I. Wagner Dobler. 1999. **Removal of**
mercury from Chloralkali electrolysis wastewater by a mercury resistant
Pseudomonas putida strain. Appl. Environ. Microbial. 65 : 5279 – 5284
- Chow, T.J. 1978. Lead in natural waters, pp.53 – 56. **In the Biogeochemistry of lead in the**
environment part A . Elsevier North – Holland biomedical Press, Amsterdam.
- Committee on Lead in the Human Environment. 1980. **Lead in human Environment.**
National Academy of Science, Washington, D.C. 525 p.
- Davis, P.H. Dulude, R.M. Griffin, W.R. Matson and E.W. Zink. 1978. **Determination of total**
arsenic at the nanogram level by high – speed anodic stripping voltammetry. Anal.
Chem. 50 : 137 - 143
- Department of Microbiology and Immunology. 2008. **Biofilm formation. Department of**
Microbiology and Immunology Dartmouth medical school : Available source
[http:// www. Dartmouth.edu/~gotoole/papage.html](http://www.Dartmouth.edu/~gotoole/papage.html). March 13 , 2008
- Duinker, J.C. and R.F. Nolthing . 1978. **Mining removal and mobilization of trace metals in**
the Rhine estuary. Journal of sea research. 12(2) : 205 – 223
- Ehrlich, H.L. 1996. **Geomicrobiology**. Dekker, New York

- Farrah, H. and W.F., Pickering. 1977. **The sorption of lead and cadmium species by clay minerals.** Journal Australia Chem. 30 : 1417 – 1425
- Fernandez – Martinez, A., G. Romen – Ross, G.J. Cuello, X. Turrillas, L. Charlet, M.R. Johnson and F. Bardelli. 2006. **Arsenic uptake by gypsum and calcite Modelling and probing by neutron and x – ray scattering.** Physica B. 385 – 386 : 935 -937
- Francis, A.J. and C.J. Dodge. 1988. **Anaerobic microbial dissolution of transition and heavy metal oxide.** Microbiology. 54: 1009 – 1014
- Frenet. M. 1981. **The distribution of mercury cadmium and lead between water and suspended matter in the loire estuary as a function of the hydrological regime.** Water Research Volume 13 issue 12 : 1343 – 1350
- Gladysheva, TB., KL. Oden and BP. Rosen. 1994. **Properties of the arsenate reductase of plasmid R773.** Biochemistry 33 : 7288 – 7293
- Goldwater, J.L. and W.Stopford. 1977. **Mercury of the chemical environment.** Blackie & Son Ltd., London. 78 p.
- Gray, D.H. and A.T. Leiser, 1982. **Biotechnical slope protection erosion control.** Van Nostrand Reinhold Company, NewYork
- Hammond, B. and R.R. Beliles. 1980. **metals in Casarett and Doll's Toxicology : The Basic Science of poisons.** 2 nd edition, Mcmillan Publishing Co., Inc., NewYork. 182 p.
- Hannerz, L. 1969. **Experimental Investigations on the accumulation of mercury in water organism.** Fishery Board of Sweden. 43 : 120 – 176

- Harden, V.P. and J.O. Harris. 1953. **The isoelectric point of bacterial cells.** Journal Bacteriol. 65 : 198 – 202
- Hawley, G.G. 1972. **The Condensed Chemical Dictionary 7th ed.,** van Nostrand Reinhold, Co., London. 878 p
- Hindmarch, J.T. and F.R. Mecurdy. 1986. **Clinical and environment aspect of arsenic toxicity.** Critical Revuew in clinical laboratory sciences. 23(4) : 125 -132
- Hirsch, D. and A. Banin. 1990. **Cadmium speciation in soil solution.** J. Environ. Qual 19 : 366 - 372
- 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
- Hutzinger, O.W., D.jamieson and S. safe. 1975. **Mass Spectra of some Fungicidal organomercury compounds. Analytical Aspects of mercury and other heavy metals in the environment.** Gordon and Breach Science Publishers Ltd., London. 168p.
- Jemelov, A. 1969. **Conversion of mercury Compounds current research of persistent pesticides.** Charles E. Thomas Springfield, Illinois. 210 p.
- Khan. A.G.2001. **Relationships between chromium biomagnification ratio, accumulation factor, and mycorrhizae in plants growing on tannery effluent-polluted soil.** Environment International 26 (2001). P 417 - 423
- Landner, L. 1989. **Chemical in aquatic environment.** Springer – verlag, Berlin. 415 p.

- Lazarova, V. and J. Manem. 1995. **Biofilm characterization and Activity Analysis in water and wastewater treatment.** Wat. Res. 29 Issue 10 : 2227 – 2245
- Lo, Waihung, Hong Chua, Kim - Hung Lam and Shu – Ping Bi. 1999. **A comparative investigation on the biosorption of lead by filament Fungal biomass.** Chemosphere. Volume 39, Issue 15 : 2723 – 2736
- Macleod, J.C. and E. Pessah. 1973. **Temperature effect on mercury accumulation, toxicity and metabolic rate in rainbow trout (Salmo gairdneri).** Journal Fish. Res. Bd.Can. 30 : 485 – 492
- Malik, Amushree. 2003 . **Metal bioremediation through growing cells.** Environment Internation 30 : 261 – 278
- McDowell, L.L. and E.H. Grissinger. 1976. **Erosion and Water Quality. Proc. Of the 23rd National watershed Congress.** Biloxi, Mississippi, pp. 40 -56
- McNeely, R.N., V.P. Neimanis and L. Dwner. 1979. **Water Quaility Sourcebook a Guide to water Quaility Parameter.** Inland water. Directorate. Water Quaility Branch, Ottawa. 89 p.
- Minnesota Pollution Control Agency. 1991. **Protecting Water Quality in Urban areas,** Minnesota
- Mullen, M.D., D.C. Wolf, F.G. Ferris, T.J. Beveridge, C.A. Flemming and G.W. Bailey. 1989. **Bacterial sorption of heavy metals.** Appl. Environ. Microbial. 55 : 3143 – 3149
- Müller, A., A. J. Wilkinson, K. S. Wilson, A.-K. Duhme-Klair and Angew. **Chem. Int. Ed. Engl.**, 45, 5132 (2006).

- Murphy, C.B., J. Stuart and J. Spiegel. 1982. **Bioaccumulation and toxicity of heavy metals and related trace elements.** Journal WPCF. 54(6) : 849 – 854
- National Academy of Sciences (NAS). 1973. **Airborne lead in perspective,** Washington D.C. 189 p.
- National Academy of Sciences (NAS). 1977. **Arsenic National Academy of Sciences,** Washington, D.C. 314 p.
- Natural Resources Conservation Service. 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-605CA.PDF), March 13, 2008
- Onedera, S. 1985. **A Case Study on Water Quality Evaluation of the Lower Chao Phraya River and Klongs along the River.** Laboratory and Research Section Environment Quality Standard Division, Bangkok. 275 p.
- Office of water. 1999. **Strom Water technology Fact sheet Vegetated Swales.** United state Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Outen, F.W., C.E. outten and T. O' Halloran. 2000. **Metalloregulatory Systems at the interface between bacterial metal homeostasis and resistance,** p. 145 – 157. In G.stovz and R. Hengge – Aronis (ed.), Bacterial stress responses. ASM Press, Washington, D.C.
- Pekel M., B. Platt and D. Busselberg. 1993. **Mercury (Hg²⁺) decreases voltage – gated calcium channel currents in rat DRG and Aplysia neurons.** Brain Res. 632 : 121 – 126

- Popovac, D., J. Grazeano, C. Seaman and B. Kaul. 1982. **Elevated blood lead in population near a lead smelter in Kosovo Yugoslavia**, Environmental. Health 37(1) : 19 – 23
- Rashid, M.A. and J.D. Leonard. 1973. **Modifications in the solubility and precipitation behavior of various metals as a results of their interaction with sedimentary humic acid**. Chem. Geol. 11 : 89 – 97
- Reilly, C. 1980. **Metal Contamination of food**. Applied Science Publishers Ltd., London. 235 p.
- Robinson , JB., Tuovinen OH . 1984. **Mechanism of Microbial resistance and detoxification of mercury and organomercury compounds : physiological , biochemical and genetic analyses**. Microbiol Rev. 48 : 95 – 124
- Roman – Ross, G., G.J. Cuello, X. Turrillus, A. Fernandez – Martinez and L. Charlet. 2006. **Arsenite sorption and Co – precipitation with calcite**. Chemical Geology 233 : 328 - 336
- Salehizadeh, H. and S.A. Shojaosadati. 2003. **Removal of metal ions from aqueous solution by polysaccharide produced from *Bacillus firmus*** . Water Research 37 : 4231 – 4235
- 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
- Sheng, Ping Xin, Yen – Peng Ting, J. Paul Chen and Liang Hong. 2004. **Sorption of lead, copper, cadmium, zinc and nickel by marine algal biomass : Characterization of biosorptive capacity and investigation of mechanisms**. Journal of colloid and interface Science 275 : 131 – 134

- 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, luannehall and Paul stoodley . 2002. **Development Regulation of microbial biofilm.** Biotechnology. V.13 : 228 – 233
- 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.
- Stumm, W. and J.J. Morgan. 1996. **Aquatic Chemistry.** Third edition , Wiley
- Turekian, K.K. and K.H Wedepohl. 1961. **Distribution of the elements in some major units of the earths crust.** Geol. Soc.America Bull. 72 : 175 – 192
- Vissottiviseth, P., Francesconi, K. and Sridokechan, W. 2002. **Environmental Pollution**, 118, 453 – 461
- Walsh, L.M. and D.R. Keeney. 1975. **Behavior and phytotoxicity of inorganic arsenicals in soils.** In Woolson, E.A.(ed.). Arsenical pesticides. American Chemical Society, Washington, D.C.
- Weast, R.C. 1963. **Handbook of chemistry and physics.** The Chemical Rubber Co., Ohio. 1415p.
- Winterigham, P.P.W. 1972. **Introduction to Mercury contamination in man and HIS Environment.** International Atomic Energy Agency, Vienna. 197 p.
- Wood, E.J. Ferguson. 1975. **The living Ocean : marine microbiology.** Stmartin's press. NewYork. 146 p.

Woolson, E.A. 1977. **Fate of arsenicals in different environmental substrates.** Environ Health. Perspect. 19 : 73 – 81

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่สามารถวัดได้ในช่วงเวลาการทำวิจัย (มิลลิกรัม/ลิตร)

พื้นที่ ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าที่สามารถวัดได้ในการทดลองครั้งที่			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		1	2	3		
ศูนย์ สุขภาพ ชุมชน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	0.06	0.57	0.10	0.24	0.28
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	0.08	0.62	0.14	0.28	0.30
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	0.04	0.57	0.09	0.23	0.29
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	0.06	0.16	0.14	0.12	0.05
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	0.04	0.06	0.12	0.07	0.04
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	0.27	0.61	0.33	0.40	0.18
ที่ท่า การ เทศบาล	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	0.07	0.14	0.13	0.11	0.04
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	0.06	0.19	0.12	0.12	0.07
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	0.08	0.16	0.07	0.10	0.05
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	0.07	0.25	0.11	0.14	0.09
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	0.05	0.13	0.06	0.08	0.04
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	0.18	0.40	0.13	0.24	0.14
โรงงาน ขนมจีน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	0.08	0.72	0.15	0.32	0.35
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	0.08	0.60	0.25	0.31	0.27
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	0.08	0.30	0.16	0.18	0.11
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	0.08	0.47	0.08	0.21	0.23
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	0.08	0.39	0.08	0.18	0.18
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	0.12	0.46	0.15	0.24	0.19

หมายเหตุ :* 1 = ครั้งที่ 1 วันที่ 21 มกราคม 2551

2 = ครั้งที่ 2 วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551

3 = ครั้งที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2551

ตารางผนวกที่ 2 อุณหภูมิที่สามารถวัดได้ในช่วงเวลาการทำวิจัย (องศาเซลเซียส)

พื้นที่ ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าที่สามารถวัดได้ในการทดลองครั้ง			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ที่				
		1	2	3		
ศูนย์ สุขภาพ ชุมชน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	25.5	25.5	25.6	25.53	0.06
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	25.5	25.5	25.5	25.50	0.00
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	25.5	25.5	25.5	25.50	0.00
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	25.5	25.5	25.5	25.50	0.00
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	25.6	25.6	25.5	25.57	0.06
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	25.9	25.6	25.6	25.70	0.17
ที่ท่า การ เทศบาล	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	26.1	26.2	26.3	26.20	0.10
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	26.0	26.0	26.3	26.10	0.17
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	25.6	26.1	26.3	26.00	0.36
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	25.9	26.2	26.4	26.17	0.25
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	25.9	26.2	26.3	26.13	0.21
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	25.5	26.2	26.2	25.97	0.40
โรงงาน ขนมจีน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	26.6	27.2	26.4	26.73	0.42
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	26.4	27.0	26.3	26.57	0.38
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	26.1	26.7	26.2	26.33	0.32
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	26.2	26.8	26.2	26.40	0.35
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	26.2	26.6	26.1	26.30	0.26
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	26.1	26.7	26.1	26.30	0.35

หมายเหตุ :* ครั้งที่ 1 วันที่ 21 มกราคม 2551
 ครั้งที่ 2 วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551
 ครั้งที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2551

ตารางผนวกที่ 3 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำที่สามารถวัดได้ในช่วงเวลาการทำวิจัย

พื้นที่ ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าที่สามารถวัดได้ในการทดลองครั้งที่			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		1	2	3		
ศูนย์ สุขภาพ ชุมชน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	6.92	6.74	6.51	6.72	0.21
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	6.99	6.76	6.51	6.75	0.24
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	7.00	6.75	6.51	6.75	0.25
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	6.96	6.57	6.50	6.68	0.25
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	6.99	6.67	6.50	6.72	0.25
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	6.97	6.73	6.49	6.73	0.24
ที่ท่า การ เทศบาล	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	6.53	6.45	6.69	6.56	0.12
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	6.59	6.49	6.72	6.60	0.12
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	6.49	6.47	6.71	6.56	0.13
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	6.56	6.46	6.71	6.58	0.13
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	6.56	6.44	6.72	6.57	0.14
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	6.57	6.48	6.72	6.59	0.12
โรงงาน ขนมจีน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	6.61	6.32	6.21	6.38	0.21
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	6.61	6.37	6.20	6.39	0.21
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	6.56	6.34	6.23	6.38	0.17
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	6.60	6.34	6.23	6.39	0.19
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	6.61	6.34	6.25	6.40	0.19
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	6.60	6.34	6.21	6.38	0.20

หมายเหตุ :* ครั้งที่ 1 วันที่ 21 มกราคม 2551
 ครั้งที่ 2 วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551
 ครั้งที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2551

ตารางผนวกที่ 4 ค่าความเต็มของน้ำที่สามารถวัดได้ในช่วงเวลาการทำวิจัย (พีพีที)

พื้นที่ ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าที่สามารถวัดได้ในการทดลองครั้งที่			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		1	2	3		
ศูนย์ สุขภาพ ชุมชน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	0.3	0.3	0.3	0.30	0
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	0.3	0.3	0.3	0.30	0
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	0.3	0.3	0.3	0.30	0
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	0.3	0.3	0.3	0.30	0
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	0.3	0.3	0.3	0.30	0
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	0.3	0.3	0.3	0.30	0
ที่ท่า การ เทศบาล	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	0.3	0.4	0.3	0.33	0.06
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	0.3	0.4	0.3	0.33	0.06
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	0.3	0.4	0.3	0.33	0.06
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	0.3	0.4	0.3	0.33	0.06
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	0.3	0.4	0.3	0.33	0.06
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	0.3	0.4	0.3	0.33	0.06
โรงงาน ขนมจีน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	0.3	0.8	0.3	0.47	0.29
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	0.4	0.8	0.3	0.50	0.26
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	0.4	0.8	0.3	0.50	0.26
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	0.4	0.8	0.3	0.50	0.26
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	0.3	0.8	0.3	0.47	0.29
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	0.4	0.8	0.3	0.50	0.26

หมายเหตุ : * ครั้งที่ 1 วันที่ 21 มกราคม 2551
 ครั้งที่ 2 วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551
 ครั้งที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2551

ตารางผนวกที่ 5 ค่าการนำไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ในช่วงเวลาการทำวิจัย (ไมโครซีเมนต์)

พื้นที่ ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าที่สามารถวัดได้ในการทดลองครั้งที่			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		1	2	3		
ศูนย์ สุขภาพ ชุมชน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	531	670	681	627.33	83.61
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	535	665	683	627.67	80.75
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	536	667	681	628.00	79.98
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	543	667	680	630.00	75.62
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	545	665	678	629.33	73.32
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	545	666	680	630.33	74.23
ที่ทำการ เทศบาล	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	625	769	624	672.67	83.43
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	622	769	623	671.33	84.58
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	628	765	624	672.33	80.28
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	633	764	623	673.33	78.68
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	638	761	623	674.00	75.72
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	642	760	624	675.33	73.87
โรงงาน ขนมจีน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	915	1657	1253	1275.00	371.49
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	874	1637	1264	1258.33	381.53
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	847	1589	1259	1231.67	371.75
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	812	1587	1261	1220.00	389.12
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	788	1579	1256	1207.67	397.71
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	781	1548	1248	1192.33	386.52

หมายเหตุ : * ครั้งที่ 1 วันที่ 21 มกราคม 2551
 ครั้งที่ 2 วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551
 ครั้งที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2551

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่สามารถวัดได้ในช่วงเวลาการทำวิจัย (มิลลิกรัม/ลิตร)

พื้นที่ ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าที่สามารถวัดได้ในการทดลองครั้งที่			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		1	2	3		
ศูนย์ สุขภาพ ชุมชน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	253	322	326	300.33	41.04
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	255	320	327	300.67	39.70
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	256	319	327	300.67	38.89
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	260	321	326	302.33	36.75
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	260	319	326	301.67	36.25
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	261	319	326	302.00	35.68
ที่ทำการ เทศบาล	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	296	366	294	318.67	41.00
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	299	364	294	319.00	39.05
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	299	363	294	318.67	38.48
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	301	364	294	319.67	38.55
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	303	362	294	319.67	36.94
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	306	362	295	321.00	35.93
โรงงาน ขนมจีน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	435	782	601	606.00	173.55
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	422	780	605	602.33	179.01
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	402	767	606	591.67	182.92
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	384	763	607	584.67	190.48
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	376	755	603	578.00	190.73
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	371	761	602	578.00	196.10

หมายเหตุ : * ครั้งที่ 1 วันที่ 21 มกราคม 2551

ครั้งที่ 2 วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551

ครั้งที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2551

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณตะกั่วในดินตะกอนภายหลังการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการใช้ฝายหินเรียง
(มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

พื้นที่ ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณที่พบในการทดลองครั้งที่			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		1	2	3		
ศูนย์ สุขภาพ ชุมชน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
ที่ทำการ เทศบาล	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	37.00	37.00	68.00	47.33	17.898
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	49.00	46.00	107.00	67.33	34.385
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	168.00	36.50	74.00	92.83	67.743
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	61.00	72.50	74.00	69.17	7.112
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	53.50	40.50	77.00	57.00	18.500
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	85.50	65.00	91.00	80.50	13.702
โรงงาน ขนมจีน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	82.00	44.00	84.00	70.00	22.539
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	21.00	36.50	75.00	44.17	27.804
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	45.00	42.00	45.00	44.00	1.732
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	67.00	30.00	47.00	48.00	18.520
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	24.50	21.00	30.50	25.33	4.805
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	64.50	46.50	71.00	60.67	12.692

หมายเหตุ :* ครั้งที่ 1 วันที่ 21 มกราคม 2551
 ครั้งที่ 2 วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551
 ครั้งที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2551

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณสารหนูในดินตะกอนภายหลังการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการใช้ฟลายฮินเรียง
(มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

พื้นที่ ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณที่พบในการทดลองครั้งที่			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		1	2	3		
ศูนย์ สุขภาพ ชุมชน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
ที่ท่า การ เทศบาล	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	5.95	12.11	12.57	10.21	3.696
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	12.27	12.47	12.12	12.29	0.176
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	6.91	12.57	13.15	10.88	3.447
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	8.06	10.60	8.53	9.06	1.351
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	6.67	15.31	9.49	10.49	4.406
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	13.83	14.43	15.13	14.46	0.651
โรงงาน ขนมจีน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	10.83	9.63	10.75	10.40	0.671
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	6.81	9.52	6.38	7.57	1.702
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	9.36	7.04	5.37	7.26	2.004
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	6.78	12.78	9.23	9.60	3.017
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	7.54	7.23	6.58	7.12	0.490
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	16.33	25.36	23.52	21.74	4.772

หมายเหตุ :* ครั้งที่ 1 วันที่ 21 มกราคม 2551
 ครั้งที่ 2 วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551
 ครั้งที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2551

ตารางผนวกที่ 9 ปริมาณปรอทในดินตะกอนภายหลังจากการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการใช้ฟลายฮินเรียง
(มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

พื้นที่ ทดลอง	จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณที่พบในการทดลองครั้งที่			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		1	2	3		
ศูนย์ สุขภาพ ชุมชน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ที่ท่า การ เทศบาล	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	0.066	0.243	0.345	0.218	0.141
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	7.620	0.262	0.410	2.764	4.206
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	0.102	0.297	0.484	0.294	0.191
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	1.139	0.287	0.584	0.670	0.432
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	0.230	0.295	0.435	4.006	0.105
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	0.611	0.619	0.714	0.648	0.057
โรงงาน ขนมจีน	ฝายที่ 1 ด้านหน้า	0.163	0.201	0.388	0.251	0.120
	ฝายที่ 1 ด้านหลัง	0.085	0.222	0.195	0.167	0.073
	ฝายที่ 2 ด้านหน้า	0.090	0.140	0.140	0.123	0.029
	ฝายที่ 2 ด้านหลัง	0.179	0.136	0.172	0.162	0.023
	ฝายที่ 3 ด้านหน้า	0.437	0.178	0.153	0.256	0.157
	ฝายที่ 3 ด้านหลัง	0.311	0.370	0.389	0.357	0.041

หมายเหตุ :* ครั้งที่ 1 วันที่ 21 มกราคม 2551
 ครั้งที่ 2 วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2551
 ครั้งที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2551

ตารางผนวกที่ 10 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างฝายในพื้นที่
ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างฝาย	81.867	2	40.933	.262	.778
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	937.140	6	156.190		
ผลรวม	1019.006	8			

ตารางผนวกที่ 11 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างฝายในพื้นที่
ทดลองที่ทำการเทศบาล

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างฝาย	1000.116	2	500.058	.641	.559
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	4680.701	6	780.117		
ผลรวม	5680.817	8			

ตารางผนวกที่ 12 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างฝายในพื้นที่
ทดลองโรงงานขนมจีน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างฝาย	727.879	2	363.939	1.891	.231
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	1154.606	6	192.434		
ผลรวม	1882.484	8			

ตารางผนวกที่ 13 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างฝายในพื้นที่
ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างฝาย	168258.735	2	84129.367	1.027	.413
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	491464.637	6	81910.773		
ผลรวม	659723.372	8			

ตารางผนวกที่ 14 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างฝายในพื้นที่
ทดลองที่ทำการเทศบาล

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างฝาย	138213.711	2	69106.856	.885	.461
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	468644.544	6	78107.424		
ผลรวม	606858.255	8			

ตารางผนวกที่ 15 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างฝายในพื้นที่
ทดลองโรงงานขนมจีน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างฝาย	6140.339	2	3070.169	.389	.694
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	47396.123	6	7899.354		
ผลรวม	53536.461	8			

ตารางผนวกที่ 16 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างฝายในพื้นที่
ทดลองศูนย์สุขภาพชุมชน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างฝาย	56913.465	2	28456.732	.464	.649
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	367690.980	6	61281.830		
ผลรวม	424604.444	8			

ตารางผนวกที่ 17 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างฝายในพื้นที่
ทดลองที่ทำการเทศบาล

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างฝาย	36540.907	2	18270.453	.616	.571
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	177936.078	6	29656.013		
ผลรวม	214476.985	8			

ตารางผนวกที่ 18 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างฝายในพื้นที่
ทดลองโรงงานขนมจีน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างฝาย	66000.753	2	33000.376	.811	.488
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	244089.997	6	40681.666		
ผลรวม	310090.750	8			

ตารางผนวกที่ 19 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างพื้นที่ทดลอง
ในฝ่ายที่ 1

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างพื้นที่	197.774	2	98.887	.364	.710
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	1632.183	6	272.031		
ผลรวม	1829.957	8			

ตารางผนวกที่ 20 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างพื้นที่ทดลอง
ในฝ่ายที่ 2

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างพื้นที่	466.629	2	233.314	.684	.540
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	2045.823	6	340.970		
ผลรวม	2512.451	8			

ตารางผนวกที่ 21 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วระหว่างพื้นที่ทดลอง
ในฝ่ายที่ 3

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างพื้นที่	466.629	2	233.314	.684	.540
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	2045.823	6	340.970		
ผลรวม	2512.451	8			

ตารางผนวกที่ 22 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างพื้นที่
ทดลองในฝ่ายที่ 1

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างพื้นที่	132682.972	2	66341.486	.409	.682
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	973785.248	6	162297.541		
ผลรวม	1106468.220	8			

ตารางผนวกที่ 23 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างพื้นที่
ทดลองในฝ่ายที่ 2

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างพื้นที่	8327.962	2	4163.981	.508	.626
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	49207.045	6	8201.174		
ผลรวม	57535.007	8			

ตารางผนวกที่ 24 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูระหว่างพื้นที่
ทดลองในฝ่ายที่ 3

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างพื้นที่	17991.606	2	8995.803	6.134	.035
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	8798.676	6	1466.446		
ผลรวม	26790.282	8			

ตารางผนวกที่ 25 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างพื้นที่ทดลอง
ในฝ่ายที่ 1

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างพื้นที่	86240.321	2	43120.161	1.099	.392
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	235430.334	6	39238.389		
ผลรวม	321670.655	8			

ตารางผนวกที่ 26 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างพื้นที่ทดลอง
ในฝ่ายที่ 2

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างพื้นที่	25542.414	2	12771.207	.735	.518
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	104229.130	6	17371.522		
ผลรวม	129771.545	8			

ตารางผนวกที่ 27 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทระหว่างพื้นที่ทดลอง
ในฝ่ายที่ 3

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างพื้นที่	66000.753	2	33000.376	.811	.488
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	244089.997	6	40681.666		
ผลรวม	310090.750	8			

ตารางผนวกที่ 28 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	413.327	2	206.663	2.047	0.210
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	605.680	6	100.947		
ผลรวม	1019.006	8			

ตารางผนวกที่ 29 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในพื้นที่ทำการเทศบาล

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	3457.894	2	1728.947	9.380	0.014
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	1105.964	6	184.327		
ผลรวม	4563.858	8			

ตารางผนวกที่ 30 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในพื้นที่โรงงานขนมจีน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	102.259	2	51.129	0.172	0.846
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	1780.226	6	296.704		
ผลรวม	1882.484	8			

ตารางผนวกที่ 31 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในพื้นที่ศูนย์
สุขภาพชุมชน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	2970.126	2	1485.063	0.483	0.639
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	18447.779	6	3074.630		
ผลรวม	21417.905	8			

ตารางผนวกที่ 32 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในพื้นที่ทำการ
เทศบาล

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	164044.592	2	82022.296	1.111	0.389
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	442813.663	6	73802.277		
ผลรวม	606858.255	8			

ตารางผนวกที่ 33 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในพื้นที่โรงงาน
ขนมจีน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	22969.841	2	11484.921	2.254	0.186
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	30566.620	6	5094.437		
ผลรวม	53536.461	8			

ตารางผนวกที่ 34 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในพื้นที่ศูนย์สุขภาพชุมชน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	70312.814	2	35156.407	0.621	0.569
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	339936.417	6	56656.070		
ผลรวม	410249.231	8			

ตารางผนวกที่ 35 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในพื้นที่ทำการเทศบาล

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	121773.939	2	600886.969	6.731	0.029
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	54273.312	6	9045.552		
ผลรวม	176047.251	8			

ตารางผนวกที่ 36 วิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดปรอทในพื้นที่โรงงานขนมจีน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig.
ระหว่างครั้ง	14454.544	2	7227.272	1.324	0.334
ความคลาดเคลื่อนภายในกลุ่ม	32746.998	6	5457.833		
ผลรวม	47201.542	8			

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายนพพร วงศ์วิวัฒน์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	13 มีนาคม พ.ศ. 2527
สถานที่เกิด	จังหวัดตรัง
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ประมง) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ

