

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีธรรมชาติบำบัด กรณีศึกษา ศูนย์กสิกรรมธรรมชาติมาบเอื้อง Efficiency of Wastewater Treatment by Natural Method: A Case Study of Mab Aung Natural Agriculture Center

สิริสุดา นูติมทอง¹ สมพจน์ กรรณนุช² วิวัฒน์ ศัลยกำธร³ และธวัชชัย ศุภดิษฐ์⁴

Sirisuda Nootimthong, Sompote Kunnoot, Wiwat Salyakamthorn,
and Tawadchai Suppadit

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีธรรมชาติบำบัด โดยศึกษาบริเวณจุดต่างๆ ของลำรางประติษฐ์ ของศูนย์กสิกรรมธรรมชาติมาบเอื้อง ได้แก่ จุดน้ำพุ 1 (บริเวณหลังห้องน้ำ) จุดน้ำพุ 2 (บริเวณหลังครัว) จุดน้ำตก จุดพีชน้ำขึ้น จุดอู้อยู่ระดับ จุดแปลง ปลูกพืชจุดแปลงผักตบชวาและจุดฝายชะลอน้ำเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัด ตามตัวชี้วัด ได้แก่ ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus) บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid) แอมโมเนีย (NH₃) ไนเตรท (NO₃) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria) และแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)

ผลการศึกษาพบว่า จุดน้ำพุ 1 (บริเวณหลังห้องน้ำ) สามารถบำบัดไนเตรทได้ดีที่สุด จุดน้ำตก และแปลงผักตบชวาสามารถบำบัดแอมโมเนียได้ดีที่สุด จุดอู้อยู่ระดับสามารถบำบัดบีโอดีได้ดีที่สุด แปลงปลูกพืชสามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยได้ดีที่สุด และฝายชะลอน้ำสามารถบำบัดฟอสฟอรัส แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด และแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มได้ดีที่สุด สรุปได้ว่าวิธีธรรมชาติ บำบัดสามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนได้ แต่ทั้งนี้ขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำเสียและตัวชี้วัดที่ต้องการ บำบัด

คำสำคัญ: การบำบัดน้ำเสีย วิธีธรรมชาติบำบัด ศูนย์กสิกรรมธรรมชาติมาบเอื้อง

¹ นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะพัฒนาลุ่มและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

Graduate Student, School of Social and Environmental Development, National Institute of Development Administration

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะพัฒนาลุ่มและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

Assistant Professor, School of Social and Environmental Development, National Institute of Development Administration

³ ประธานมูลนิธิกสิกรรมธรรมชาติ ศูนย์กสิกรรมธรรมชาติมาบเอื้อง ตำบลหนองบอนแดง อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี

Foundation President, Mab Aung Natural Agriculture Center, Tambon Nong Bon Daeng, Ban Bueng District, Chonburi Province

⁴ รองศาสตราจารย์ คณะพัฒนาลุ่มและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

Associate Professor, School of Social and Environmental Development, National Institute of Development Administration

Abstract

The objective of this study was to find out the effectiveness of natural methods on wastewater treatment at Mab Aung Natural Agriculture Center. The sampling points were: 1) fountain 1 (behind toilet), 2) fountain 2 (behind kitchen), 3) waterfall, 4) five levels forest, 5) uplifted block, 6) Typha angustifolia crop field, 7) water hyacinth crop field and 8) check dam. The effectiveness of the system was determined in terms of total phosphorus, biochemical oxygen demand (BOD), suspended solid (SS), ammonia (NH_3), nitrate (NO_3), pH, total coliform bacteria, and fecal coliform bacteria.

The results illustrated that NO_3 could be treated mostly at the fountain 1 area, NH_3 at waterfall and water hyacinth areas, BOD at uplifted block, SS at Typha angustifolia crop field, and phosphorus, total coliform bacteria and fecal coliform bacteria at check dam. It can be concluded that the natural method can be used to treat the domestic wastewater. However, the effectiveness of treatment depended upon the wastewater characteristics and treated indicators.

Keywords: wastewater treatment, natural methods, Mab Aung Natural Agriculture Center

1. บทนำ

น้ำเสียจากชุมชนนับเป็นปัญหาหลักประการหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก น้ำเสียเหล่านี้สามารถแก้ไขและ/หรือปรับปรุงสภาพให้ดีขึ้นได้ด้วยการบำบัดอย่างถูกวิธี เทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียมีอยู่หลากหลายวิธีการ แต่เทคโนโลยีส่วนใหญ่มักต้องใช้งบประมาณที่ค่อนข้างสูง ทั้งในด้านเครื่องจักรกลและพลังงาน แต่เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติถือเป็นเทคโนโลยีที่ง่าย สะดวก และเป็นวิธีการที่อาศัยธรรมชาติให้ช่วยเหลือน้ำเสียด้วยตัวเอง

ศูนย์กสิกรรมธรรมชาติมาบเอื้องเกิดขึ้นเพื่อทดสอบแนวคิดตามพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว โดยอาจารย์วิวัฒน์ ศัลยกำธร ประธานกรรมการมูลนิธิกสิกรรมธรรมชาติ ได้ศึกษาแนวปฏิบัติของการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติบำบัดด้วยการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากชุมชนที่พึ่งพิงวิถีธรรมชาติ โดยมีวัตถุประสงค์ต้องการบำบัดน้ำเสียในขั้นต้น ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นในศูนย์ฯ เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ที่จัดฝึกอบรมแก่ประชาชนที่มาเข้ารับการฝึกอบรม เช่น จากการใช้ห้องน้ำห้องส้วม การซักล้าง และการทำครัว การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียอาศัยกระบวนการทางธรรมชาติ เช่น นำน้ำขึ้นไปเก็บไว้บนที่สูงและปล่อยให้ไหลลงสู่ที่ต่ำในระบบน้ำตก ไหลผ่านฝายชะลอน้ำ การใช้น้ำดีไล่น้ำเสีย การเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำ ให้น้ำเสียไหลผ่านระบบพืชน้ำขึ้น และไหลผ่านพืชน้ำบางชนิดที่มีประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตได้ดีในน้ำเสีย ซึ่งเป็นการนำหลักการบำบัดน้ำเสียแบบพึ่งพาธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ซึ่งเป็นเทคโนโลยีอย่างง่ายประหยัดทั้งพลังงานและง่ายในการดูแลรักษาระบบ จึงเป็นที่มาของความสนใจในการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของศูนย์กสิกรรมธรรมชาติมาบเอื้อง

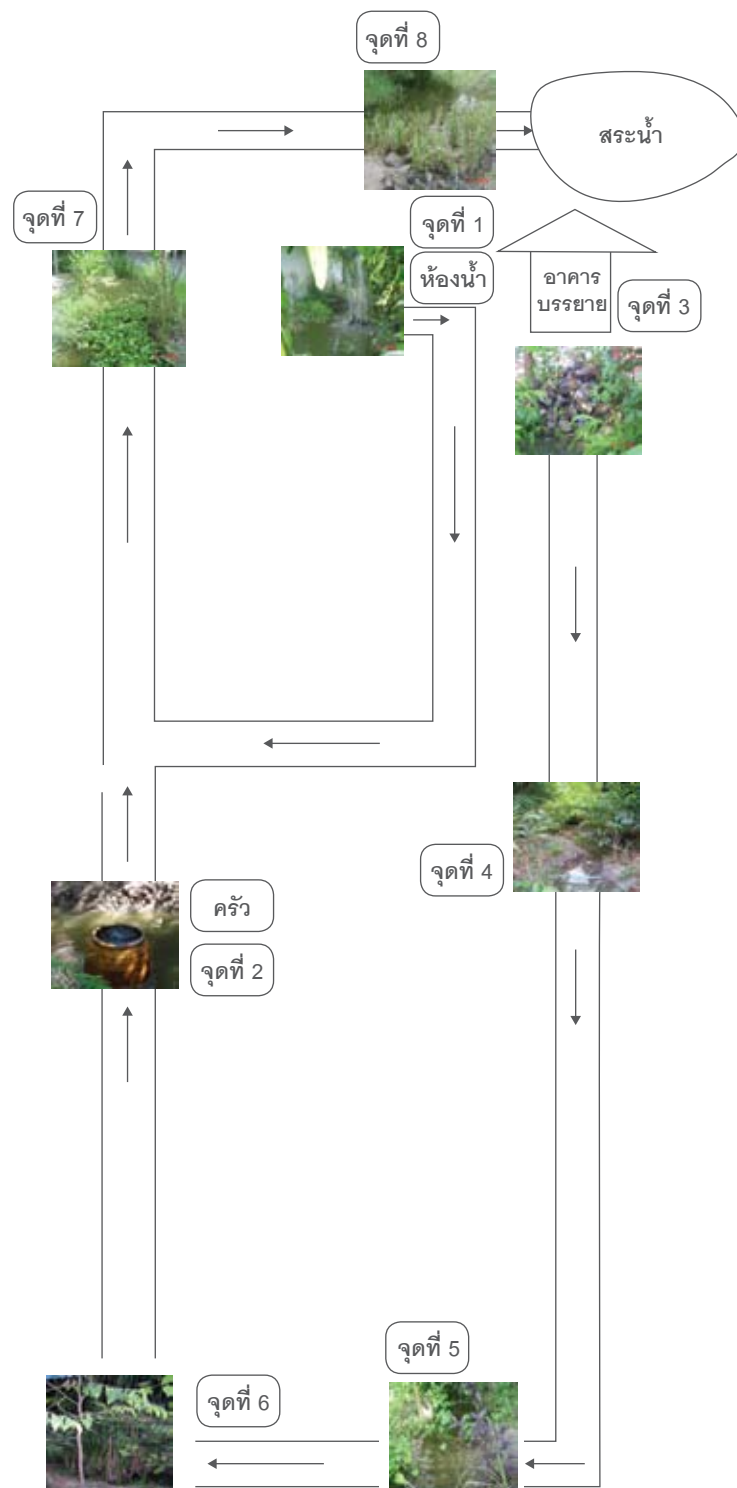
2. วิธีการวิจัย

การศึกษานี้ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ซึ่งเป็นแผนการทดลองที่เหมาะสมสำหรับสิ่งทดลองมีความสม่ำเสมอ ไม่มีความแตกต่างเนื่องจากปัจจัยอื่นๆ เช่น น้ำหนัก อายุ ใช้วิธีสุ่มธรรมดา ให้ทุกๆ หน่วยการทดลองมีโอกาสเท่าๆ กัน (สุพจน์ บุญแรง, 2549) โดยแบ่งเป็น 8 Treatments ตามการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียของศูนย์ศึกษาระบบนิเวศ (อ.วิวัฒน์ ศัลยกำธร) คือ Treatment ที่ 1 บริเวณน้ำพุ 1 (บริเวณหลังห้องน้ำ) Treatment ที่ 2 บริเวณน้ำพุ 2 (บริเวณหลังครัว) Treatment ที่ 3 บริเวณน้ำตก Treatment ที่ 4 บริเวณพืชห้าชั้น Treatment ที่ 5 บริเวณอุโมงค์ระดับ Treatment ที่ 6 บริเวณแปลงปลูกพืช Treatment ที่ 7 บริเวณแปลงผักตบชวา และ Treatment ที่ 8 บริเวณฝายชะลอน้ำ โดย Treatment ที่ 1 รับน้ำเสียจากห้องน้ำ Treatment ที่ 2 รับน้ำเสียจากห้องครัว Treatment ที่ 3 รับน้ำเสียจากบ่อน้ำใหญ่ ซึ่งเป็นที่รวมของน้ำเสียที่ได้ผ่านการบำบัด และในบาง Treatment จะเป็นการไหลผ่านจาก Treatment อื่น คือ Treatment ที่ 3 เข้าสู่ Treatment ที่ 4 เข้าสู่ Treatment 5 และเข้าสู่ Treatment ที่ 6

การเก็บตัวอย่างน้ำจากจุดต่างๆ ของลำรางประดิษฐ์จำนวน 8 จุด ดังแสดงไว้ในภาพที่ 1 โดยทำการเก็บ 3 ช่วงเวลา คือ 9.00น. 12.00น. และ 15.00น. ภายในวันเดียวกัน โดยเก็บตัวอย่างน้ำแบบผสมรวม (Composite Sampling) จากตัวอย่างละ 4 ขั้วๆ ละ 3 ลิตรของแต่ละช่วงเวลา และแช่ในถังน้ำแข็งเพื่อลดอุณหภูมิ จากนั้นนำตัวอย่างน้ำที่ได้ส่งที่คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย เพื่อทำการวิเคราะห์ผลตามพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ ได้แก่ ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus) ออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (Biochemical Oxygen Demand; BOD) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid) แอมโมเนีย (NH_3) ไนเตรท (NO_3) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria) และแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria) วิธีที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำสรุปดังตารางที่ 1 โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของผลการบำบัดน้ำเสียระหว่างก่อนและหลังการบำบัดตามจุดต่าง โดยใช้สถิติ t-test ที่นัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ด้วยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SAS เวอร์ชัน 6.12 (SAS, 1996)

ตารางที่ 1 วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำ	วิธีวิเคราะห์
ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus)	Persulfate Digestion
บีโอดี (BOD)	5-Day BOD Test
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid)	Gravimetric และอบที่ 103-105 °C
แอมโมเนีย (NH_3)	Titrimetric
ไนเตรท (NO_3)	Cadmium Reduction Method
แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	MPN
แบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)	MPN



ภาพที่ 1 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างน้ำ

3. ผลการวิจัย

ผลการบำบัดน้ำในบริเวณน้ำพุ 1 (หลังห้องน้ำ)

- ปริมาณฟอสฟอรัสรวมก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 1.35 และ 0.50 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 63.00
 - ปริมาณบีโอดีก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 146.00 และ 125.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 13.40
 - ปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 30.00 และ 20.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 33.33
 - ปริมาณแอมโมเนียก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 2.24 และ 1.68 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงร้อยละ 25.00
 - ปริมาณไนเตรทก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 2.70 และ 1.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 63.00
 - ค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 7.53 และ 7.76 ตามลำดับ เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.00
 - ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดก่อนและหลังการบำบัด เท่ากับ 170.00×10^3 และ 70.00×10^3 เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 58.80
 - ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 6.00×10^3 และ 3.00×10^3 เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร ลดลงร้อยละ 50.00
- ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียบริเวณน้ำพุ 1 สรุปดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัดในบริเวณน้ำพุ 1

คุณภาพของน้ำทั้ง	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	ร้อยละ
ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (mg/L)	1.35 ^a	0.50 ^b	63.00
ค่าบีโอดี (mg/L)	146.00 ^a	125.00 ^b	13.40
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (mg/L)	30.00 ^a	20.00 ^b	33.33
ปริมาณแอมโมเนีย (mg/L)	2.24 ^a	1.68 ^b	25.00
ปริมาณไนเตรท (mg/L)	2.70 ^a	1.00 ^b	63.00
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	7.53 ^a	7.76 ^b	3.00
ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ($\times 10^3$ MPN/100 mL)	170.00 ^a	70.00 ^b	58.80
ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม ($\times 10^3$ MPN/100 mL)	6.00 ^a	3.00 ^b	50.00

หมายเหตุ: ab ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนระหว่างก่อนและหลังการบำบัด แสดงว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการบำบัดน้ำในบริเวณน้ำพุ 2 (หลังครัว)

- ปริมาณฟอสฟอรัสรวมก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 1.75 และ 1.18 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 32.60
 - ปริมาณบีโอดีก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 458.00 และ 312.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 31.90
 - ปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 40.00 และ 30.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 25.00
 - ปริมาณแอมโมเนียก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 2.12 และ 1.12 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงร้อยละ 47.20
 - ปริมาณไนเตรทก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 1.07 และ 0.70 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 34.60
 - ค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 7.20 และ 7.20 ตามลำดับ ไม่เปลี่ยนแปลง
 - ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดก่อนและหลังการบำบัด เท่ากับ 160.00×10^3 และ 90.00×10^3 เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 43.80
 - ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 5.00×10^3 และ 4.00×10^3 เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร ลดลงร้อยละ 20.00
- ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียบริเวณน้ำพุ 2 สรุปดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัดในบริเวณน้ำพุ 2

คุณภาพของน้ำทั้ง	ก่อน การบำบัด	หลัง การบำบัด	ร้อยละ
ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (mg/L)	1.75 ^a	1.18 ^b	32.60
ค่าบีโอดี (mg/L)	458.00 ^a	312.00 ^b	31.90
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (mg/L)	40.00 ^a	30.00 ^b	25.00
ปริมาณแอมโมเนีย (mg/L)	2.12 ^a	1.12 ^b	47.20
ปริมาณไนเตรท (mg/L)	1.07 ^a	0.70 ^b	34.60
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	7.20	7.20	-
ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ($\times 10^3$ MPN/100 mL)	160.00 ^a	90.00 ^b	43.80
ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม ($\times 10^3$ MPN/100 mL)	5.00 ^a	4.00 ^b	20.00

หมายเหตุ: ab ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนระหว่างก่อนและหลังการบำบัด แสดงว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการบำบัดน้ำในบริเวณน้ำตก

- ปริมาณฟอสฟอรัสรวมก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 1.56 และ 1.45 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 8.20
 - ปริมาณของบีโอดีก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 141.00 และ 138.00 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงร้อยละ 2.10
 - ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 20.00 และ 10.00 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงร้อยละ 50.00
 - ปริมาณแอมโมเนียก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 2.24 และ 1.12 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 50.00
 - ปริมาณไนเตรทก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 1.00 และ 0.70 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงร้อยละ 30.00
 - ค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 7.50 และ 7.50 ไม่เปลี่ยนแปลง
 - ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 120.00×10^3 และ 80.00×10^3 เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 33.33
 - ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 7.00×10^3 และ 4.80×10^3 เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 42.80
- ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียบริเวณน้ำตก สรุปดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัดในบริเวณน้ำตก

คุณภาพของน้ำทิ้ง	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	ร้อยละ
ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (mg/L)	1.56 ^a	1.45 ^b	8.20
ค่าบีโอดี (mg/L)	141.00	138.00	2.10
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (mg/L)	20.00 ^a	10.00 ^b	50.00
ปริมาณแอมโมเนีย (mg/L)	2.24 ^a	1.12 ^b	50.00
ปริมาณไนเตรท (mg/L)	1.00 ^a	0.70 ^b	30.00
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	7.50	7.50	-
ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ($\times 10^3$ MPN/100 mL)	120.00 ^a	80.00 ^b	33.33
ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม ($\times 10^3$ MPN/100 mL)	7.00 ^a	4.80 ^b	42.80

หมายเหตุ: ab ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนระหว่างก่อนและหลังการบำบัด แสดงว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการบำบัดน้ำในบริเวณพืชห้าชั้น

- ปริมาณฟอสฟอรัสรวมก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 1.55 และ 1.13 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 27.10
 - ปริมาณของบีโอดีก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 256.00 และ 159.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 37.90
 - ปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 30.00 และ 20.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 33.33
 - ปริมาณแอมโมเนียก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 2.24 และ 1.57 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 30.00
 - ปริมาณไนเตรทก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 1.05 และ 0.80 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 23.80
 - ค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 7.60 และ 7.50 ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 1.30
 - ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดก่อนและหลังการบำบัด เท่ากับ 160.00×10^3 และ 90.00×10^3 เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร ลดลงร้อยละ 43.75
 - ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 1.70×10^3 และ 0.80×10^3 เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร ลดลงร้อยละ 53.00
- ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียบริเวณพืชห้าชั้น สรุปดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัดในบริเวณพืชห้าชั้น

คุณภาพของน้ำทั้ง	ก่อน การบำบัด	หลัง การบำบัด	ร้อยละ
ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (mg/L)	1.55 ^a	1.13 ^b	27.10
ค่าบีโอดี (mg/L)	256.00 ^a	159.00 ^b	37.90
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (mg/L)	30.00 ^a	20.00 ^b	33.33
ปริมาณแอมโมเนีย (mg/L)	2.24 ^a	1.57 ^b	30.00
ปริมาณไนเตรท (mg/L)	1.05 ^a	0.80 ^b	23.80
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	7.60	7.50	1.30
ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ($\times 10^3$ MPN/100 mL)	160.00 ^a	90.00 ^b	43.75
ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม ($\times 10^3$ MPN/100 mL)	1.70 ^a	0.80 ^b	53.00

หมายเหตุ: ab ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนระหว่างก่อนและหลังการบำบัด แสดงว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการบำบัดน้ำในบริเวณอูฐยกระดืบ

- ปริมาณฟอสฟอรัสรวมก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 1.12 และ 0.53 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 52.70
 - ปริมาณของบีโอดีก่อนและหลังเท่ากับ 245.00 และ 145.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 40.80
 - ปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 30.00 และ 20.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 33.33
 - ปริมาณแอมโมเนียก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 3.36 และ 2.24 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 33.33
 - ปริมาณไนเตรทก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 1.00 และ 0.90 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 10.00
 - ค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 7.50 และ 7.60 ค่า เปลี่ยนแปลง ไม่มากนัก
 - ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 50.00×10^3 และ 30.00×10^3 เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 40.00
 - ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 2.00×10^3 และ 1.30×10^3 เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 35.00
- ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียบริเวณอูฐยกระดืบ สรุปดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัดในบริเวณอูฐยกระดืบ

คุณภาพของน้ำทิ้ง	ก่อน การบำบัด	หลัง การบำบัด	ร้อยละ
ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (mg/L)	1.12 ^a	0.53 ^b	52.70
ค่าบีโอดี (mg/L)	245.00 ^a	145.00 ^b	40.80
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (mg/L)	30.00 ^a	20.00 ^b	33.33
ปริมาณแอมโมเนีย (mg/L)	3.36 ^a	2.24 ^b	33.33
ปริมาณไนเตรท (mg/L)	1.00	0.90	10.00
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	7.50	7.60	1.30
ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ($\times 10^3$ MPN/100 mL)	50.00 ^a	30.00 ^b	40.00
ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม ($\times 10^3$ MPN/100 mL)	2.00 ^a	1.30 ^b	35.00

หมายเหตุ: ab ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนระหว่างก่อนและหลังการบำบัด แสดงว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการบำบัดน้ำในบริเวณรูปถ่าย

- ปริมาณฟอสฟอรัสรวมก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 1.75 และ 1.55 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 11.40
 - ปริมาณบีโอดีก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 217.00 และ 189.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 14.80
 - ปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 30.00 และ 10.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 66.70
 - ปริมาณแอมโมเนียก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 0.84 และ 0.70 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 42.00
 - ปริมาณไนเตรทก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 2.40 และ 1.20 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 37.50
 - ค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 7.60 และ 7.50 ตามลำดับ ลดลงเพียง
 - ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดก่อนและหลังการบำบัด เท่ากับ 150.00×10^3 และ 100.00×10^3 เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 33.33
 - ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 2.80×10^3 และ 2.40×10^3 เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร ลดลงร้อยละ 14.30
- ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียบริเวณรูปถ่าย สรุปดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัดในบริเวณรูปถ่าย

คุณภาพของน้ำทั้ง	ก่อน การบำบัด	หลัง การบำบัด	ร้อยละ
ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (mg/L)	1.75 ^a	1.55 ^b	11.40
ค่าบีโอดี (mg/L)	217.00 ^a	189.00 ^b	14.80
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (mg/L)	30.00 ^a	10.00 ^b	66.70
ปริมาณแอมโมเนีย (mg/L)	0.84 ^a	0.70 ^b	42.00
ปริมาณไนเตรท (mg/L)	2.40 ^a	1.20 ^b	37.50
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	7.60	7.50	1.30
ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ($\times 10^3$ MPN/100 mL)	150.00 ^a	100.00 ^b	33.33
ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม ($\times 10^3$ MPN/100 mL)	2.80 ^a	2.40 ^b	14.30

หมายเหตุ: ab ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนระหว่างก่อนและหลังการบำบัด แสดงว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการบำบัดน้ำในบริเวณแปลงผักตบชวา

- ปริมาณฟอสฟอรัสรวมก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 1.80 และ 1.45 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 19.40
 - ปริมาณของบีโอดีก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 271.00 และ 250.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 7.80
 - ปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 30.00 และ 15.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 50.00
 - ปริมาณแอมโมเนียก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 1.12 และ 0.56 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 50.00
 - ปริมาณไนเตรทก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 1.70 และ 1.30 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 23.50
 - ความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 7.60 และ 7.60 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลง
 - ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 150.00×10^3 และ 90.00×10^3 เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 40.00
 - ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 3.00×10^3 และ 2.30×10^3 เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 23.30
- ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียบริเวณแปลงผักตบชวา สรุปดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัดในบริเวณแปลงผักตบชวา

คุณภาพของน้ำทิ้ง	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	ร้อยละ
ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (mg/L)	1.80 ^a	1.45 ^b	19.40
ค่าบีโอดี (mg/L)	271.00 ^a	250.00 ^b	7.80
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (mg/L)	30.00 ^a	15.00 ^b	50.00
ปริมาณแอมโมเนีย (mg/L)	1.12 ^a	0.56 ^b	50.00
ปริมาณไนเตรท (mg/L)	1.70 ^a	1.30 ^b	23.50
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	7.60	7.60	-
ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ($\times 10^3$ MPN/100 mL)	150.00 ^a	90.00 ^b	40.00
ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม ($\times 10^3$ MPN/100 mL)	3.00 ^a	2.30 ^b	23.30

หมายเหตุ: ab ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนระหว่างก่อนและหลังการบำบัด แสดงว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการบำบัดน้ำในบริเวณฝายชะลอน้ำ

- ปริมาณฟอสฟอรัสรวมก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 1.53 และ 0.35 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 77.40
 - ปริมาณของบีโอดีก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 275.00 และ 163.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 40.70
 - ปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 40.00 และ 25.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 37.50
 - ปริมาณแอมโมเนียก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 0.84 และ 0.70 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 16.70
 - ปริมาณไนเตรทก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 2.40 และ 1.20 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 50.00
 - ค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 8.00 และ 8.50 ตามลำดับ ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.25 ซึ่งเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก
 - ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดก่อนและหลังการบำบัดเท่ากับ 240.00×10^3 และ 90.00×10^3 เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 62.50
 - ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มก่อนและหลังเท่ากับ 2.70×10^3 และ 0.70×10^3 เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 74.10
- ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียบริเวณฝายชะลอน้ำ สรุปดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัดในบริเวณฝายชะลอน้ำ

คุณภาพของน้ำทั้ง	ก่อน การบำบัด	หลัง การบำบัด	ร้อยละ
ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (mg/L)	1.53 ^a	0.35 ^b	77.40
ค่าบีโอดี (mg/L)	275.00 ^a	163.00 ^b	40.70
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (mg/L)	40.00 ^a	25.00 ^b	37.50
ปริมาณแอมโมเนีย (mg/L)	0.84 ^a	0.70 ^b	16.70
ปริมาณไนเตรท (mg/L)	2.40 ^a	1.20 ^b	50.00
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	8.00 ^a	8.50 ^b	6.25
ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ($\times 10^3$ MPN/100 mL)	240.00 ^a	90.00 ^b	62.50
ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม ($\times 10^3$ MPN/100 mL)	2.70 ^a	0.70 ^b	74.10

หมายเหตุ: ab ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนระหว่างก่อนและหลังการบำบัด แสดงว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4. วิจารณ์ผล

การบำบัดฟอสฟอรัสรวมในบริเวณจุดบำบัดน้ำพุ 1 น้ำพุ 2 มีทั้งการเปิดและปิดน้ำพุสลับกันทำให้เกิดมีออกซิเจนละลายลงสู่น้ำสลับกับช่วงที่ไม่มีออกซิเจน และในส่วนของบริเวณน้ำตก บริเวณอูยกระดืบและบริเวณฝายชะลอน้ำ นั้นมีทั้งช่วงที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน จึงทำให้จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนสามารถดูดซึมสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตเข้าไปในเซลล์และย่อยสลายให้เปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์ฟอสเฟตก่อนที่จะปล่อยออกนอกเซลล์ (สุบัญญัติ นิมิตรต์, 2548) จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในบริเวณดังกล่าวลดลง ในบริเวณพืชห้ำชันการบำบัดฟอสฟอรัสรวมเกิดจากการดูดซึมโดยพืชซึ่งจะดูดซึมผ่านทางรากและนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ (สุชาติดา ปุณณสัมฤทธิ์, 2548) ในบริเวณรูปภาชีการบำบัดฟอสฟอรัสรวมเกิดจากรูปภาชีนำฟอสฟอรัสไปใช้ในรูปแบบของออร์โธฟอสเฟต ซึ่งเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อพืชเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างไฮโดรพลาสซึม (ประเทือง เชาวน์กลาง, 2534) และในบริเวณผักตบชวาการบำบัดฟอสฟอรัสรวมเกิดจากผักตบชวาต้องการใช้ฟอสฟอรัสในปริมาณมากโดยเฉพาะในระยะแรกของการเจริญเติบโต (อารียา ลิมนานนวัฒน์, 2536)

การบำบัดค่าบีโอดีในบริเวณน้ำพุ 1 น้ำพุ 2 น้ำตก รูปภาชี และบริเวณแปลงผักตบชวานั้นค่าบีโอดีก่อนและหลังการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก จึงกล่าวได้ว่าในระบบดังกล่าวไม่สามารถบำบัดค่าบีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในบริเวณพืชห้ำชันค่าบีโอดีหลังบำบัดลดลงเนื่องจากพืชสามารถดูดซึมเอาสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำมาใช้เพิ่มมวลชีวภาพให้มากขึ้น เมื่อปริมาณสารอินทรีย์ลดลง ทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์ลดลง ส่งผลต่อความต้องการออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537) และในบริเวณอูยกระดืบกับบริเวณฝายชะลอน้ำค่าบีโอดีหลังบำบัดลดลง เนื่องจากเมื่อออกซิเจนละลายน้ำได้มากขึ้น ทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น และเมื่ออาหารของจุลินทรีย์ลดลง ทำให้ปริมาณบีโอดีลดลง (ณัฐพล เอี่ยมอัน, 2549)

การบำบัดปริมาณของแอมโมเนียในบริเวณต่างๆ ทำให้ปริมาณของแอมโมเนียลดลงเนื่องจากจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำซึ่งเป็นของแอมโมเนียเพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานและนำไปสร้างเซลล์ใหม่ และเกิดจากการตกตะกอนของสารแอมโมเนีย (ณัฐพล เอี่ยมอัน, 2549) และรากของพืชจะเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ จึงทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น (สุรวดี บุปผะเรณู, 2542)

การบำบัดปริมาณแอมโมเนียในบริเวณต่างๆ ทำให้ปริมาณของปริมาณแอมโมเนียลดลงเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และในบริเวณที่มีพืชๆ สามารถดูดซับแอมโมเนียซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโต (มันสิน ตันทุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2540) และบางส่วนอาจซึมลงสู่พื้นดิน จากนั้นพืชสามารถดูดซึมไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตต่อไป (สุชาติดา ปุณณสัมฤทธิ์, 2548)

การบำบัดปริมาณไนเตรท ปริมาณไนเตรทลดลงเนื่องจากไนเตรทได้ผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันทำให้ไนเตรทเปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจน และผ่านการกรอง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตได้ (จิตติมา เชื้อกุล, 2545)

การบำบัดค่าความเป็นกรด-ด่างในแต่ละบริเวณไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และน้ำเสียอยู่สภาพที่เป็นกลาง

การบำบัดปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม ปริมาณแบคทีเรียลดลง เนื่องจากน้ำเสียมีสภาพต่างจากสภาพภายในลำไส้ของสัตว์เลื้อยคลาน จึงไม่เหมาะกับการดำรงชีวิต และอาจเกิดการตายลงจากการสัมผัสออกซิเจน (สิรินทิพากร, 2527)

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

ระบบบำบัดนี้สามารถบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสรวมได้ดี เนื่องจากสภาพที่มีอากาศและไม่มีอากาศโดยเฉพาะในบริเวณฝายชะลอน้ำ สามารถบำบัดปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม และกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มได้ดี แต่บำบัดค่าบีโอดีได้ไม่ดีเท่าที่ควร และบำบัดของแข็งแขวนลอยได้ปานกลางจากการตกตะกอน

ดังนั้นจึงควรใช้ระบบบำบัดน้ำเสียนี้นี้เป็นการบำบัดเบื้องต้น ถ้าจะให้สามารถบำบัดได้ดีขึ้นควรมีการติดตั้งอุปกรณ์บำบัดก่อนจะเข้าสู่ระบบบำบัดต่อไป เช่น สร้างบ่อดักไขมันหลังครัวเพื่อลดค่าบีโอดีและปริมาณของแข็งแขวนลอย และสร้างบ่อดักน้ำเสียหลังห้องน้ำเพื่อให้ น้ำเสียได้มีการบำบัดขั้นต้นก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด

ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้ คือไม่มีการวัดค่าดีไอของน้ำเสีย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์กสิกรรมธรรมชาติมาบเอื้อง ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และข้อมูลต่างๆ และคณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย ทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

บรรณานุกรม

- คณิต ไชยคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2537. แนวทางการป้องกันเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. กรุงเทพมหานคร:สถาบันวิจัยเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง.
- จิตติมา เชื้อกุล. 2545. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ต้นพุทธรักษาในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ณัฐพล เอี่ยมอัน. 2549. การบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากสาเหล้มหมัก:กรณีศึกษา น้ำต๋อยจากคลองแสนแสบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- ธงชัย พรธนะสวัสดิ์. 2545. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. (พิมพ์ครั้งที่ 2) กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- ประเทือง เชาว์วันกลาง. 2534. คุณภาพน้ำทางการประมง. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์พิสิทธ์

เซ็นเตอร์.

มันลิน ตันทุลเวศม์และไพโรพรรณ พรประภา. 2540. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสีย
ในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น. (พิมพ์ครั้งที่ 3) กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย
ธรรมศาสตร์.

สิรินทิพากร. 2527. การฟอกตัวเองของน้ำทางแบคทีเรียในห้วยแม่ราก บริเวณโครงการหลวง
พัฒนาดันน้ำหน่วยที่ 1 (ทุ่งจ้อ) อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุชาดา ปุณณสัมฤทธิ์. 2548. การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม.
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุภัณฑิต นิมิตรณ์. 2548. จุลชีววิทยาของน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.

สุพจน์ บุญแรง. 2549. เส้นทางสู่ครูผู้สร้าง. เชียงใหม่: ศูนย์ประสานงานโครงการวิทยาศาสตร์ท้องถิ่น
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

สุรัสวดี บุบผะเรณู . 2542. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดีในน้ำเสีย
ชุมชนเมืองเพชรบุรี โดยวิธีหญ้า กรอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์.

อภิชัยเชียรสิริกุล. 2533. การบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยด้วยบ่อผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อารียา ลิมนานวัฒน์. 2536. การใช้ประโยชน์จากผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสีย. ภาคนิพนธ์
ปริญญามหาบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

SAS. 1996. Statistical Analysis System. North Carolina: SAS Institute Inc.