รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

# การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้พืชน้ำร่วมกับระบบบ่อบำบัดน้ำเสียในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

## กรณีศึกษา : น้ำเสียชุมชนจากเทศบาลนครหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา


โดย

นางสาวธนิยา เกาศล

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



สนับสนุนงานวิจัยโดยทุนสนับสนุนงานวิจัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตุลาคม 2545



เลขหมู่ TD623.T5 ธ๓k 2545

Bib Key 228734

# บทคัดย่อ

ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน และค่าใช้จ่ายในการควบคุมการทำงานของระบบต่ำ แต่ในระบบบำบัดน้ำเสียมักพบปัญหาเรื่องสาหร่ายสีเขียวเกิดขึ้น จึงมีแนวคิดในการใช้ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียร่วมกับพืชลอยน้ำซึ่งเลือกใช้พืชในการศึกษา 3 ชนิดคือ ผักบุ้ง, ผักกระเฉด และผักตบชวา ใช้ค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่ 0.025 และ 0.2 $m^3/m^2.d$ ซึ่งมีระยะเวลาเก็บกัก 20 และ 2.4 วัน ตามลำดับ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้ระบบบ่อร่วมกับพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิด ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันพบว่า ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ใกล้เคียงกันทั้ง 3 ชนิด ซึ่งค่าตัวแปรจากการบำบัดส่วนใหญ่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน แต่ประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงเมื่อภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เพิ่มขึ้น สรุปได้ว่า พืชทั้ง 3 ชนิดมีความเหมาะสมในการนำมาใช้บำบัดน้ำเสีย หากพิจารณาในเรื่องความคงทนของพืชและการดูแลรักษา พบว่าผักบุ้ง และผักตบชวา มีความคงทนและดูแลรักษาง่าย แต่ผักบุ้งเป็นพืชที่ปลูกให้ครอบคลุมพื้นที่ผิวน้ำได้ยากกว่าผักตบชวา ดังนั้นหากใช้ระบบบ่อร่วมกับพืชลอยน้ำ ควรเลือกใช้ผักตบชวา

# ABSTRACT

Because of easy and low operation and maintenance cost, the waste stabilization pond is a popular treatment process to treat wastewater. However, the algae bloom problem in pond is a common one. This research emphasized to solve this problem and treat the wastewater by aquatic plants that selected from three floating plants as Water Spinach, Water Minosa and Water Hyacinth at the hydraulic loading rate 0.025 and 0.2 $m^3/m^2.d$ corresponding to the detention times were 20 and 2.4 day, respectively.

The result of the removal efficiency of aquatic plant for treatment wastewater by stabilization pond with 3 floating plants at various hydraulic loading rates showed that the capacity of treatment was different slightly. Effluent characteristics from treatment with the 3 floating plants were less than effluent standard. Removal efficiency was decreased when the hydraulic loading rate was increased. Therefore the 3 floating plants are convenient for treatment. The Water Spinach and Water Hyacinth were found to be more durable and lower maintenance. However, the control of distribution of Water Hyacinth in pond water was easier. The Water Hyacinth was found to be more suitable than both of floating plants.

# สารบาญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ | i |
| ABSTRACT | ii |
| สารบาญ | iii |
| สารบาญตาราง | |
| สารบาญภาพ | |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ | |
| **บทที่ 1 บทนำ** | 1 |
| 1.1 ความสำคัญ/ที่มาของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการ | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| **บทที่ 2 การทบทวนเอกสาร** | 4 |
| 2.1 ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเทศบาลนครหาดใหญ่ | 4 |
| 2.2 ความหมายของน้ำเสีย | 10 |
| 2.3 ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (waste stabilization ponds) | 12 |
| 2.4 ทฤษฎีการบำบัดน้ำเสียโดยพืชน้ำ | 16 |
| 2.5 พรรณไม้น้ำ (aquatic plants) | 17 |
| 2.6 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักตบชวา | 19 |
| 2.7 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักบุ้ง | 22 |
| 2.8 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักกระเฉด | 23 |
| 2.9 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียโดยพืชน้ำ | 24 |
| **บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย** | 30 |
| 3.1 อุปกรณ์ | 30 |
| 3.2 วิธีการทดลอง | 32 |

# สารบาญ (ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| **บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์** | 38 |
| 4.1 ผลการทดลองที่ 1 : ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ (ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน) | 38 |
| 4.2 ผลการทดลองที่ 2 : ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ (ระยะเวลาเก็บกัก 2.4 วัน) | 53 |
| **บทที่ 5 สรุป** | 68 |
| 5.1 สรุปผลการศึกษา | 68 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 70 |
| **เอกสารอ้างอิง** | 71 |
| **ภาคผนวก** | 74 |
| - ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆ | 75 |
| - ภาคผนวก ข การวิเคราะห์หาค่าตัวแปรต่างๆ | 110 |
| - ภาคผนวก ค มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน | 124 |

# สารบาญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1. | ตัวแปรในการออกแบบระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย | 16 |
| 2. | แสดงหลักการทำงานของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสีย | 19 |
| 3. | แสดงค่าเฉลี่ย 5 เดือน (กรกฎาคม-พฤศจิกายน) ของการทดลอง 3 ปีเปรียบเทียบประสิทธิภาพของบ่อในการบำบัดน้ำเสีย | 24 |
| 4. | แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำระหว่างบ่อที่มีผักตบชวาและบ่อผึ่ง | 25 |
| 5. | แสดงประสิทธิภาพของบ่อผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยที่ออกจากบ่อผันสภาพ | 26 |
| 6. | แสดงความถี่ในการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรต่างๆ | 34 |
| 7. | สรุปตัวแปรที่ทำการตรวจสอบในงานวิจัย | 34 |
| 8. | แสดงวิธีการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรต่างๆ ของน้ำเสีย | 35 |
| 9. | แสดงผลการวิเคราะห์น้ำเสียเข้าสู่บ่อบึงประดิษฐ์ที่ 2 จากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่ | 39 |
| 10. | แสดงค่า pH เฉลี่ยของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 39 |
| 11. | แสดงค่า $BOD_5$ เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด $BOD_5$ ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 41 |
| 12. | แสดงค่า SS เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด SS ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 43 |
| 13. | แสดงค่า TKN เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TKN ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 45 |
| 14. | แสดงค่า TP เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TP ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 47 |
| 15. | แสดงค่า Fecal Coliform เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TP ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 50 |
| 16. | แสดงผลการวิเคราะห์น้ำเสียเข้าสู่บ่อบึงประดิษฐ์ที่ 2 จากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่ | 53 |
| 17. | แสดงค่า pH เฉลี่ยของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 54 |
| 18. | แสดงค่า $BOD_5$ เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด $BOD_5$ ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 55 |

# สารบาญตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 19. | แสดงค่า SS เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด SS ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 57 |
| 20. | แสดงค่า TKN เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TKN ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 60 |
| 21. | แสดงค่า TP เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TP ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 62 |
| 22. | แสดงค่า Fecal Coliform เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TP ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 64 |
| 23. | แสดงผลสรุปการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแต่ละชุดการทดลองที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 68 |
| 24. | แสดงผลสรุปการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแต่ละชุดการทดลองที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 69 |

| ตารางผนวกที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| ก-1 | แสดงผลการวิเคราะห์น้ำเสียเข้าสู่บ่อบึงประดิษฐ์ที่ 2 จากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่ สำหรับการทดลองที่ 1 | 76 |
| ก-2 | แสดงค่า pH ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 77 |
| ก-3 | แสดงค่า $BOD_5$ ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 78 |
| ก-4 | แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด $BOD_5$ ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 79 |
| ก-5 | แสดงค่า SS ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 81 |
| ก-6 | แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด SS ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 82 |
| ก-7 | แสดงค่า TKN ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 84 |
| ก-8 | แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 85 |
| ก-9 | แสดงค่า TP ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 87 |

## สารบาญตาราง (ต่อ)


| ตารางผนวกที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| ก-10 | แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด TP ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 88 |
| ก-11 | แสดงค่า Fecal Coliform ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 90 |
| ก-12 | แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด Fecal Coliform ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 91 |
| ก-13 | แสดงผลการวิเคราะห์น้ำเสียเข้าสู่บ่อบึงประดิษฐ์ที่ 2 จากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่ สำหรับการทดลองที่ 2 | 93 |
| ก-14 | แสดงค่า pH ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 94 |
| ก-15 | แสดงค่า $BOD_5$ ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 95 |
| ก-16 | แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด $BOD_5$ ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 96 |
| ก-17 | แสดงค่า SS ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 98 |
| ก-18 | แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด SS ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 99 |
| ก-19 | แสดงค่า TKN ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 101 |
| ก-20 | แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 102 |
| ก-21 | แสดงค่า TP ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 104 |
| ก-22 | แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด TP ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 105 |
| ก-23 | แสดงค่า Fecal Coliform ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 107 |
| ก-24 | แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด Fecal Coliform ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 108 |
| ข-1 | แสดงช่วงค่าบีโอดีและวิธีการเจือจางตัวอย่างน้ำ | 117 |
| ข-2 | แสงดการแปลผลค่า Fecal coliform | 123 |
| ค-1 | ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด | 125 |

# สารบาญตาราง (ต่อ)


| ตารางผนวกที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| ค-2 | ประเภทของอาคารเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม | 126 |
| ค-3 | เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน | 127 |

# สารบาญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1. | แสดงแผนผังระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเทศบาลนครหาดใหญ่ | 10 |
| 2. | การทำงานร่วมกันระหว่างแบคทีเรียกับสาหร่าย | 13 |
| 3. | ปฏิกิริยาชีวเคมีในบ่อแอนแอโรบิก | 15 |
| 4. | ผักตบชวา (Eichornia crassipes (Mart.) Solms) | 21 |
| 5. | ผักบุ้ง (Ipomoea aquatica Fork. หรือ Ipomoea reptans Poir.) | 22 |
| 6. | ผักกระเฉด (Neptunia prostrata (Lam) Baili หรือ Neptunia oleracea Lour) | 23 |
| 7. | แสดงแบบจำลองของชุดการทดลอง | 31 |
| 8. | แผนภูมิแสดงวิธีการและขั้นตอนการทดลอง | 33 |
| 9. | แสดงวิธีการเก็บน้ำ | 35 |
| 10. | แสดงถังเก็บกักน้ำและถังจ่ายน้ำเข้าระบบ | 36 |
| 11. | แสดงลักษณะของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ | 36 |
| 12. | แสดงการทำงานของระบบ | 37 |
| 13. | แสดงจุดเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดเพื่อไปวิเคราะห์ตัวแปรคุณภาพน้ำต่างๆ | 37 |
| 14. | แสดงค่า pH ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 40 |
| 15. | แสดงค่า pH เฉลี่ยของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 40 |
| 16. | แสดงค่า $BOD_5$ ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 41 |
| 17. | แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด $BOD_5$ ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 42 |
| 18. | แสดงค่า SS ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 43 |
| 19. | แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด SS ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 44 |
| 20. | แสดงค่า TKN ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 46 |
| 21. | แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TKN ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 46 |
| 22. | แสดงค่า TP ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 48 |
| 23. | แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TP ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 48 |
| 24. | แสดงค่า Fecal Coliform ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 50 |

## สารบาญภาพ (ต่อ)


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 25. | แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด Fecal Coliform ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 51 |
| 26. | แสดงลักษณะน้ำเสียเข้าระบบและน้ำที่ผ่านการบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกทางทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 52 |
| 27. | แสดงค่า pH ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 54 |
| 28. | แสดงค่า pH เฉลี่ยของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 55 |
| 29. | แสดงค่า $BOD_5$ ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 56 |
| 30. | แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด $BOD_5$ ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 56 |
| 31. | แสดงค่า SS ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 58 |
| 32. | แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด SS ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 58 |
| 33. | แสดงค่า TKN ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 60 |
| 34. | แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TKN ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 61 |
| 35. | แสดงค่า TP ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 62 |
| 36. | แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TP ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 63 |
| 37. | แสดงค่า Fecal Coliform ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 65 |
| 38. | แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด Fecal Coliform ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 65 |
| 39. | แสดงลักษณะน้ำเสียเข้าระบบและน้ำที่ผ่านการบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกทางทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ | 66 |

| ตารางผนวกที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| ก-1 | แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด $BOD_5$ ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ | 80 |

## สารบาญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ หน้า


ก-2 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด SS ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ 83

ก-3 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ 86

ก-4 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด TP ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ 89

ก-5 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด Fecal coliform ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ 92

ก-6 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด $BOD_5$ ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ 97

ก-7 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด SS ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ 100

ก-8 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ 103

ก-9 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด TP ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ 106

ก-10 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด Fecal coliform ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ 109

# คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

| | | |
|---|---|---|
| $BOD_5$ | = | Biochemical Oxygen Demand |
| COD | = | Chemical Oxygen Demand |
| DO | = | Dissolved Oxygen (ออกซิเจนละลาย) |
| pH | = | ค่าแสดงความเป็นกรด-ด่าง |
| SS | = | Suspended Solids (ของแข็งแขวนลอย) |
| TKN | = | Total Kjeldahl Nitrogen (ไนโตรเจนทั้งหมด) |
| TP | = | Total Phosphorus (ฟอสฟอรัสทั้งหมด) |
| TSS | = | Total Suspended Solids (ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด) |

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญ/ที่มาของปัญหา

ปัจจุบันน้ำเสียชุมชนของเทศบาลนครหาดใหญ่ ได้มีการรวบรวมโดยระบบรวบรวมน้ำเสียเพื่อส่งมายังระบบบำบัดน้ำเสียรวม (central treatment plant) ของเทศบาลนครหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเทศบาลนครหาดใหญ่เป็นระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (waste stabilization pond) ซึ่งประกอบด้วย บ่อบำบัดขั้นต้น (primary pond) จำนวน 2 บ่อ บ่อบำบัดแบบกึ่งไร้อากาศ (facultative pond) จำนวน 2 บ่อ บ่อบ่ม (maturation pond) จำนวน 2 บ่อ บ่อบึงประดิษฐ์ (constructed wetland) จำนวน 5 บ่อ และบ่อกักเก็บน้ำเสียสุดท้ายก่อนปล่อยลงสู่คลองขุด และทะเลสาบสงขลา

สืบเนื่องจากน้ำท่วมครั้งใหญ่เมื่อปลายปี 2543 ส่งผลให้พืชน้ำที่ปลูกในบ่อบึงประดิษฐ์ตายหมด ทางเทศบาลฯ จึงได้ดำเนินการปลูกต้นจอกแหนตามที่ออกแบบไว้ให้ใช้ต้นจอกแหนจำนวน 2 ครั้ง แต่จอกแหนก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และตายในที่สุด ปัจจุบันมีพืชน้ำอื่นขึ้นแทน ซึ่งได้แก่ ผักตบชวา ผักบุ้ง และหญ้าบางชนิด ทำให้เกิดปัญหากับระบบบ่อบึงประดิษฐ์ ทำให้ส่วนหนึ่งเกิดปัญหาน้ำมีสีเขียว ซึ่งผลมาจากในน้ำมีปริมาณสาหร่ายมากเกินไป (algae bloom)

ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการที่จะทำการศึกษาวิจัยเพื่อหาพืชน้ำที่มีความเหมาะสมกับระบบบ่อบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเทศบาลนครหาดใหญ่ เนื่องจากลักษณะความลึกและการใช้พืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียทำให้ลักษณะของการบำบัดน้ำเสียเปลี่ยนจากระบบบึงประดิษฐ์เป็นระบบบ่อบำบัดน้ำเสียมากกว่า ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันมากระบบหนึ่ง เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน ไม่ต้องใช้เทคโนโลยีสูง และค่าใช้จ่ายในการควบคุมการทำงานของระบบต่ำ ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียเป็นระบบที่ต้องใช้พื้นที่มาก เมื่อเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียอื่นๆ จึงมีความเหมาะสมมากที่จะใช้ในการบำบัดน้ำเสียในพื้นที่ต่างจังหวัดเนื่องจากที่ดินมีราคาถูก โดยทั่วไประบบบ่อบำบัดน้ำเสียจะอาศัยหลักการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยใช้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียตามธรรมชาติ จึงนิยมใช้ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียเพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง ได้แก่ น้ำเสียจากชุมชน น้ำเสียจากโรงงานต่างๆ แต่ในระบบมักพบปัญหาสาหร่ายสีเขียวเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำเสียมีธาตุอาหาร (nutrients) สูง การใช้ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียร่วมกับพืชลอยน้ำ เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ จึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาเพื่อหาชนิดพืชลอยน้ำที่เหมาะสมกับ

ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย โดยเลือกใช้พืชในการศึกษา 3 ชนิดคือ ผักบุ้ง ผักกระเฉด และผักตบชวา เนื่องจากเป็นพืชลอยน้ำที่พบมากในพื้นที่ หาได้ง่าย ราคาถูก และสามารถเจริญเติบโตได้ดี เพื่อให้ทางเทศบาลนครหาดใหญ่ได้นำข้อมูลและผลวิจัยที่ได้มาใช้กับระบบจริง เพื่อประหยัดค่าลงทุนในการจัดซื้อพืชน้ำมาทดลองปลูกเป็นจำนวนมากๆ

**1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ**

1. เพื่อศึกษาชนิดของพืชน้ำที่มีความเหมาะสม และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ของเทศบาลนครหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ของพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดคือ ผักตบชวา, ผักบุ้ง และผักกระเฉด
2. เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นในการเลือกชนิดของพืชลอยน้ำไปประยุกต์ใช้กับน้ำเสียชุมชน
3. เพื่อศึกษาอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (hydraulic loading) ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

**1.3 ขอบเขตของโครงการ**

1. เป็นโครงการที่ปฏิบัติในห้องปฏิบัติการเคมี สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
2. น้ำเสียชุมชนที่ใช้ในโครงการนี้ นำมาจากบ่อบึงประดิษฐ์ที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเทศบาลนครหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
3. พืชน้ำที่ใช้ในโครงการเพื่อทำการบำบัดน้ำเสียชุมชน 3 ชนิดคือ ผักบุ้ง, ผักกระเฉด และผักตบชวา
4. แบบจำลองที่ใช้ในโครงการมีขนาด 0.3x1.5x0.8 เมตร มีจำนวน 4 ชุดการทดลอง โดยแต่ละชุดการทดลองมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 และ 0.2 $m^3/m^2.d$ มีระยะเวลาเก็บกัก 20 และ 2.4 วันตามลำดับ
5. ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในโครงการคือ pH, $BOD_5$, SS, TKN, TP และ Fecal Coliform

**1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

เป็นแนวทางเลือกพืชน้ำที่เหมาะสมกับระบบบ่อบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

# บทที่ 2
# การทบทวนเอกสาร

## 2.1 ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเทศบาลนครหาดใหญ่

โครงการออกแบบรวมก่อสร้างระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียรวมเทศบาลนครหาดใหญ่ มีวัตถุประสงค์ของการดำเนินงาน ดังนี้

1) รวบรวมน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และพื้นที่ใกล้เคียงไม่ให้ไหลลงสู่คลองเตยและคลองอู่ตะเภา และนำน้ำไปบำบัดก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ
2) รักษาคลองอู่ตะเภา ให้เป็นแหล่งน้ำสำหรับผลิตน้ำประปา และใช้ในการเกษตรต่อไปในอนาคต
3) ฟื้นฟูคุณภาพน้ำในคลองเตยและคลองอู่ตะเภาให้ดีขึ้น และไม่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศในทะเลสาบสงขลา

เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคม ประชาชนและสิ่งแวดล้อมมากที่สุด จึงได้กำหนดแนวทางดำเนินการให้ระบบบำบัดน้ำเสียที่ก่อสร้างจะต้องเป็น

1) ระบบที่พึ่งพาเทคโนโลยีน้อยที่สุด
2) ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาและเดินระบบต่ำ
3) บำรุงรักษาง่าย
4) มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงพอที่จะบำบัดน้ำเสีย ให้น้ำทิ้งมีคุณภาพได้มาตรฐานน้ำทิ้งตามที่กฎหมายกำหนด

จากเหตุผลข้างต้น เทศบาลนครหาดใหญ่จึงพิจารณาเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งธรรมชาติ (stabilization pond) ซึ่งมีความเหมาะสมและเป็นไปตามวัตถุประสงค์โดยใช้เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับสภาพท้องถิ่น และยังมีบึงประดิษฐ์ (constructed wetland) เพื่อบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อผึ่งธรรมชาติให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น และส่งผลกระทบน้อยที่สุดต่อคุณภาพน้ำและระบบนิเวศในทะเลสาบสงขลาอีกด้วย

เทศบาลนครหาดใหญ่ เริ่มดำเนินการโดยวิธีประมูลแบบเหมารวม (lump sum turnkey) ซึ่งเป็นการออกแบบรวมก่อสร้างโดยทำสัญญาจ้าง เมื่อวันที่ 19 มิถุนายน 2538 เริ่มดำเนินงาน เมื่อวันที่

8 สิงหาคม 2538 ปัจจุบันการก่อสร้างได้เสร็จสมบูรณ์แล้ว เมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2542 และบริษัทผู้รับเหมาจะต้องดำเนินการเดินระบบและบำรุงรักษาอีก 365 วัน กำหนดแล้วเสร็จวันที่ 12 ตุลาคม 2543 รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการโครงการทั้งสิ้น 1,867,363,741.75 บาท

### 2.1.1 พื้นที่ให้บริการ

บริการบำบัดน้ำเสีย ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 30.1 ตร.กม. ประกอบด้วย พื้นที่ประมาณ 21 ตร.กม. ในเขตเทศบาลเดิมหรือประมาณร้อยละ 70 ของพื้นที่ให้บริการ โดยครอบคลุมย่านธุรกิจการค้าและแหล่งชุมชนหนาแน่นทั้งหมด กับพื้นที่บริเวณใกล้เคียงซึ่งอยู่นอกเขต เทศบาลอีกประมาณ 9.1 ตร.กม. หรือประมาณร้อยละ 30 พื้นที่ส่วนนี้ ส่วนใหญ่จะครอบคลุมพื้นที่บริเวณตำบลคอหงส์ และตำบลคลองแห

### 2.1.2 สถานที่ตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียตั้งอยู่บริเวณตำบลน้ำน้อย และตำบลคูเต่า อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ในพื้นที่ขนาดประมาณ 2,040 ไร่ 2 งาน 216 ตารางวา อยู่ห่างจากเทศบาลฯ ไปทางด้าน ทิศเหนือประมาณ 13 กิโลเมตร ซึ่งเทศบาลนครหาดใหญ่ ดำเนินการจัดซื้อในวงเงิน 629.86 ล้านบาท โดยใช้งบประมาณเงินอุดหนุนจากกองทุนฯ งบประมาณจากโครงการพัฒนาเมืองหลัก และงบประมาณสมทบจากเทศบาลนครหาดใหญ่

### 2.1.3 ระบบรวบรวมน้ำเสีย

ระบบรวบรวมน้ำเสียเป็นแบบรวม (combined system) ออกแบบให้รับได้ทั้งน้ำฝนและน้ำเสียจากบ้านเรือน พาณิชยกรรมและแหล่งกำเนิดน้ำเสียอื่นๆ เพื่อรองรับไม่ให้น้ำเสียไหลลงสู่น้ำธรรมชาติ อันได้แก่ คลองเตย และคลองอู่ตะเภาอีกต่อไป โครงสร้างระบบประกอบด้วยท่อรวบรวมน้ำเสียขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ตั้งแต่ 0.60-2.00 เมตร ความยาวรวมทั้งสิ้น 24.5 กิโลเมตร สถานียกระดับน้ำ (lift station) 4 แห่ง สถานีสูบน้ำเสีย 1 แห่ง ท่อส่งน้ำเสียแรงดันขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.50 เมตร เพื่อส่งน้ำเสียจากสถานีสูบน้ำเสียไปที่ระบบบำบัดน้ำเสีย ความยาวรวม 9.5 กิโลเมตร และอาคารดักน้ำเสีย (Combined Sewer Overflow หรือ CSO) จำนวน 203 แห่ง เพื่อผันน้ำส่วนที่เกิน 5 เท่าของปริมาณน้ำเสียในช่วงฤดูแล้ง (หรือ 5 Dry Weather Flow) ออกสู่แหล่งรองรับน้ำ ดังนั้น น้ำเสียหรือน้ำเสียรวมน้ำฝนที่มีปริมาณไม่เกิน 5 Dry Weather Flow จะถูกรวบรวมและส่งต่อไปยังระบบ

บำบัดน้ำเสียรวมต่อไป นอกจากนี้ได้มีการออกแบบระบบท่อรวบรวมน้ำเสียแบบท่อแยก (separated system) เพื่อแยกน้ำฝนและน้ำเสียไม่ให้ไหลรวมในท่อเดียวกัน สำหรับพื้นที่ใกล้เคียงเพื่อเตรียมการก่อสร้างในอนาคตด้วย

### 2.1.4 ระบบบำบัดน้ำเสียรวม (หรือระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ)

ระบบบำบัดน้ำเสียรวมเทศบาลนครหาดใหญ่ สามารถรองรับน้ำเสียได้ระยะเวลา 20 ปี กล่าวคือ ในระยะเวลา 10 ปีแรก (พ.ศ. 2539-2548) สามารถรับน้ำเสีย (Dry Weather Flow) ประมาณ 69,000 ลบ.ม.ต่อวัน และในระยะ 10 ปีถัดไป (พ.ศ. 2549-2558) จะรับน้ำเสียได้รวมทั้งสิ้นประมาณ 138,000 ลบ.ม.ต่อวัน ระบบบำบัดน้ำเสียรวมดังกล่าว เป็นระบบแบบบ่อผึ่ง (stabilization pond) ร่วมกับการใช้บึงประดิษฐ์ (constructed wetland) โดยอาศัยกลไกการทำงานของธรรมชาติช่วยในการปรับสภาพน้ำเสียให้มีคุณภาพดีขึ้น ทำให้ไม่จำเป็นต้องพึ่งพาเทคโนโลยีขั้นสูงและเครื่องจักรกลมากนัก ซึ่งทำให้ไม่สิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการระบบบำบัดน้ำเสียอีกด้วย การบำบัดน้ำเสียดังกล่าวมี 4 ขั้นตอนคือ การบำบัดเบื้องต้น (preliminary treatment) การบำบัดขั้นแรก (primary treatment) การบำบัดขั้นที่สอง (secondary treatment) และการบำบัดขั้นสูง (advance treatment)

#### 1) การบำบัดเบื้องต้น (preliminary treatment)

เป็นการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่อยู่ในรูปของแข็งขนาดใหญ่หรือเศษขยะที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสีย โดยติดตั้งตะแกรงดักขยะอัตโนมัติ (automatic fine screen) ที่สถานีแบ่งน้ำเสีย หรือ head works เพื่อแยกขยะออกจากน้ำเสียที่ส่งมาจากสถานีสูบน้ำก่อนระบายสู่บ่อบำบัดขั้นแรก (primary pond) ต่อไป

#### 2) บ่อบำบัดน้ำเสียขั้นแรก (primary pond) หรือบ่อหมัก

มีจำนวน 2 บ่อ ต่อเชื่อมแบบคู่ขนานมีพื้นที่บ่อประมาณ 45 ไร่ และ 48 ไร่ เป็นบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic pond) ทำหน้าที่ตกตะกอนของแข็งที่อยู่ในรูปตะกอนสารอินทรีย์และกรวดทรายออกจากน้ำเสีย และยังสามารถลดปริมาณความสกปรกในรูปบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand หรือ $BOD_5$) ได้บางส่วน บ่อหมักนี้จะมีความลึกประมาณ 3.4 เมตร ทั้ง

นี้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในบ่อนี้ถือว่าเป็นการบำบัดขั้นแรก (primary treatment) หลังจากนั้นก็จะไหลลงสู่บ่อ facultative pond ต่อไป

**3) บ่อบำบัดกึ่งไร้อากาศ (facultative pond )**

มีจำนวน 2 บ่อ ต่อขนานกัน มีพื้นที่ต่อบ่อประมาณ 138 ไร่ และ 171 ไร่ มีความลึกประมาณ 1.70-1.80 เมตร กระบวนการบำบัดน้ำเสียในบ่อ facultative pond จะเกิดขึ้นสองแบบภายในบ่อเดียวกัน คือ ส่วนชั้นบนของบ่อซึ่งแสงอาทิตย์ส่องลงไปถึง จะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์โดย กระบวนการใช้ออกซิเจน ส่วนชั้นล่างของบ่อซึ่งแสงอาทิตย์ส่องลงไปไม่ถึง จะเกิดการย่อยสลายตะกอนด้วยกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน โดยอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างสาหร่ายกับแบคทีเรียและเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายตามธรรมชาติ

**4) บ่อบำบัดบ่ม (maturation pond)**

มีจำนวน 2 บ่อ ต่อขนานกันมีพื้นที่ต่อบ่อประมาณ 78 ไร่ และ 39 ไร่ มีความลึกประมาณ 1.30-1.40 เมตร ทำหน้าที่ปรับสภาพและคุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อ facultative pond โดยจะช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ และช่วยในการฆ่าเชื้อโรคจากแสงอาทิตย์อีกด้วย น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อ facultative pond และ maturation pond ถือได้ว่าเป็นการบำบัดขั้นที่สอง (secondary treatment)

**5) บึงประดิษฐ์ (constructed wetland)**

มีจำนวน 5 บ่อ ระดับความลึกแตกต่างกันตั้งแต่ 0.7-1.40 เมตรใช้พื้นที่บ่อรวมทั้งสิ้นประมาณ 587 ไร่ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองจากบ่อผึ่งจะไหลลงสู่บึงประดิษฐ์ ซึ่งถือเป็นการบำบัดขั้นสูง (advance treatment) เพื่อปรับสภาพและคุณภาพน้ำให้ดียิ่งขึ้น สามารถกำจัดได้ทั้งค่าความสกปรกในรูปบีโอดี ค่าสารแขวนลอย (suspended solids) รวมทั้งสามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียได้ โดยอาศัยกระบวนการทางชีวเคมีและแบคทีเรีย หรือกระบวนการ nitrification และ denitrification ที่เกิดขึ้นภายในบึงประดิษฐ์ เนื่องจากมีการปลูกพืชต่างชนิดไว้ในบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อให้เหมาะสมกับหน้าที่การทำงานของแต่ละบ่อ ดังเช่น ต้นกกสามเหลี่ยม จอกแหน เพื่อช่วยในการลดค่าบีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส และยังช่วยกรองสารแขวนลอยในน้ำเสียอีกด้วย

นอกจากนี้ยังได้จัดให้มีบ่อเก็บน้ำฉุกเฉิน (emergency pond) ขนาดความจุสูงสุดประมาณ 720,000 ลูกบาศก์เมตร เพื่อใช้กักเก็บน้ำเสียสำรองเอนกประสงค์ในกรณีเกิดภาวะฉุกเฉินต่างๆ และกับเก็บน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแต่ยังไม่ได้มาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนด รวมทั้งเป็นบ่อกักเก็บน้ำในกรณีบำรุงรักษาหรือขุดลอกตะกอนในบ่ออื่นๆ

**2.1.5 คุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว**

ระบบน้ำเสียรวมเทศบาลนครหาดใหญ่ มีประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมประมาณร้อยละ 80-95 สามารถลดค่าความสกปรกในรูปบีโอดี ($BOD_5$) ได้ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม ต่อลิตร และค่าของแข็งแขวนลอย (suspended solids) ไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามที่ได้ออกแบบไว้ นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้อีกด้วย

**2.1.6 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและบำรุงรักษา**

ระบบบำบัดน้ำเสียรวมเทศบาลนครหาดใหญ่ ถูกออกแบบให้มีค่าใช้จ่ายสำหรับการดูแลรักษาและเดินระบบไม่เกิน 0.36 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งนับได้ว่าเป็นระบบที่ใช้พลังงานน้อย การดูแลรักษาและเดินระบบง่ายไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย

**2.1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ**

**1) ด้านสิ่งแวดล้อม**

1.1) น้ำเสียจากแหล่งชุมชนเขตเทศบาลนครหาดใหญ่เกือบทั้งหมดได้รับการบำบัดจนมีค่าความสกปรกในรูปบีโอดีไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ค่าสารแขวนลอยไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนที่จะระบายลงแหล่งรองรับน้ำได้แก่ คลองขุด แล้วไหลลงทะเลสาบสงขลาในที่สุด ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนด และจากการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมแล้ว พบว่าจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและระบบนิเวศของทะเลสาบสงขลา

1.2) คุณภาพน้ำในคลองเตยและคลองอู่ตะเภาดีขึ้น เนื่องจากไม่มีน้ำเสียไหลลงคลองดังกล่าวอีกต่อไป ในอนาคตประชาชนสามารถใช้คลองดังกล่าวเป็นแหล่งสันทนาการและใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ได้มากขึ้น

1.3) พื้นที่บริเวณที่ตั้งระบบบำบัดน้ำเสียรวม ซึ่งเป็นบ่อผึ่งและบึงประดิษฐ์ขนาดใหญ่ ทำให้มีสภาพเป็นธรรมชาติ และเมื่อมีพืชน้ำเกิดขึ้น นกกว่า 25 ชนิดก็เข้ามาอยู่อาศัย ได้แก่ นกอีโก้ง, นกอีล้ำ, นกเอี้ยงสาริกา, นกตีนเทียน, นกนางแอ่น, นกกระสา, นกกาน้ำ และนกยางชนิดต่างๆ โดยเฉพาะในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม จะมีนกเป็ดน้ำย้ายถิ่นฐานมาอยู่อาศัยด้วยเช่นนี้แล้ว โอกาสที่จะเกิดความหลากหลายทางชีวภาพ (biodiversity) ก็สูงขึ้น นอกจากนี้พื้นที่นี้จะกลายเป็นแหล่งธรรมชาติที่มีระบบนิเวศสมบูรณ์ขึ้นแล้ว ยังสามารถใช้เป็นแหล่งสันทนาการ แหล่งศึกษาด้านระบบบำบัดน้ำเสีย และด้านระบบนิเวศของนกอีกด้วย

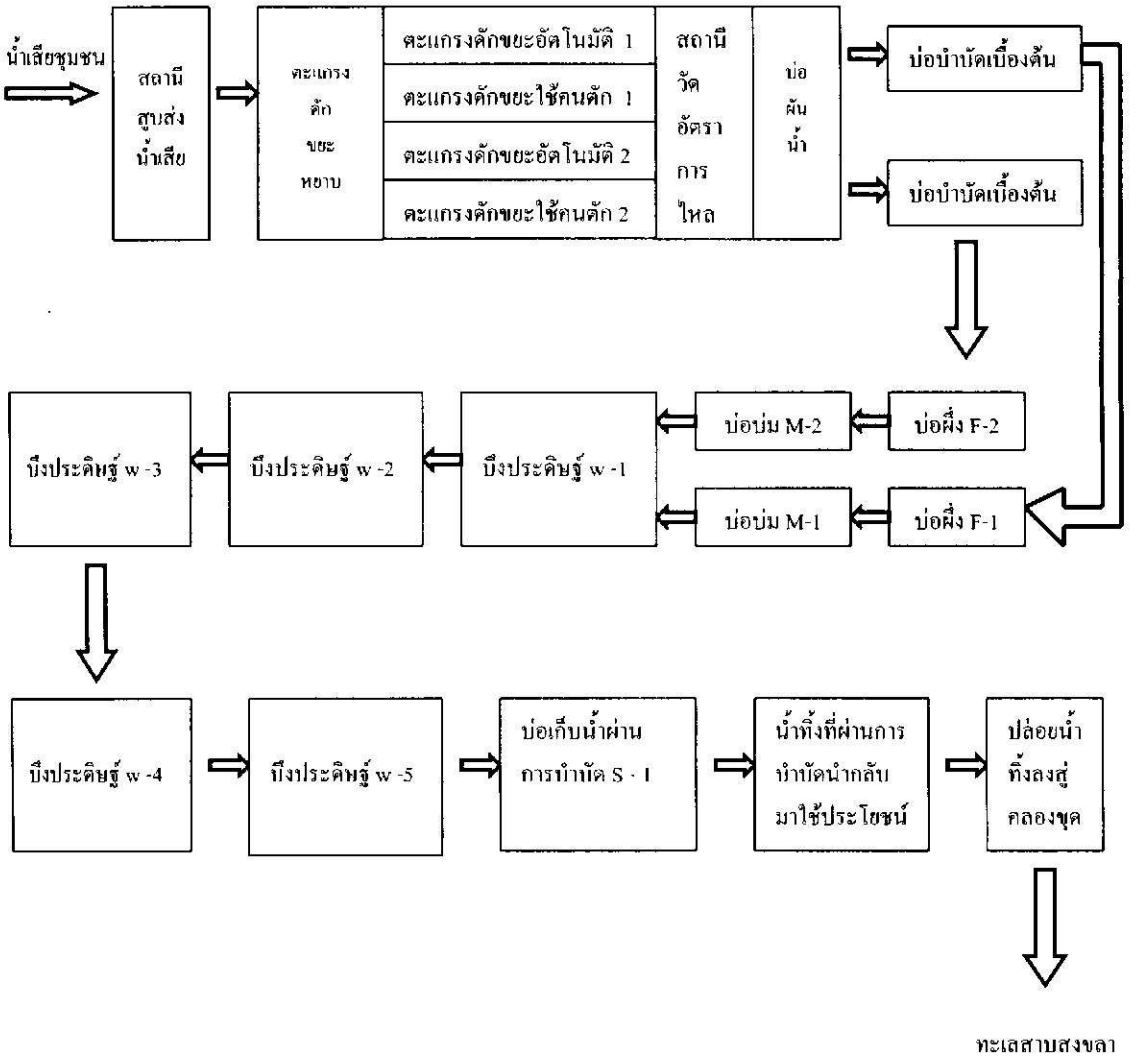
1.4) น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก เช่น ใช้รดต้นไม้ภายในพื้นที่ และใช้ในระบบห้องน้ำ ห้องส้วมภายในอาคารต่างๆ ในพื้นที่ที่ตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย

**2) ด้านเศรษฐกิจและสังคม**

2.1) คุณภาพชีวิตของประชาชนเทศบาลนครหาดใหญ่ดีขึ้นเนื่องจากปัญหามลพิษด้านน้ำเสียได้รับการแก้ไข และจะได้รับการยอมรับจากนักท่องเที่ยวในการจัดการ สิ่งแวดล้อมที่ดีและมีประสิทธิภาพ เป็นผลดีต่อสภาพเศรษฐกิจโดยรวมของนครหาดใหญ่ต่อไป

**3) ด้านความร่วมมือจากประชาชน**

3.1) การจัดการน้ำเสียอย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพของเทศบาลนครหาดใหญ่ สามารถดำเนินการจนเห็นผลอย่างเป็นรูปธรรม ทำให้ประชาชนยอมรับและให้ความร่วมมือมากขึ้น ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมในอนาคต เพราะความร่วมมือร่วมใจของประชาชนคือเงื่อนไขสำคัญในการสงวน บำรุงรักษา และใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติ และความหลากหลายทางชีวภาพ รวมทั้งการส่งเสริมบำรุงรักษาและคุ้มครองคุณภาพสิ่งแวดล้อม ตลอดจนการควบคุมและกำจัดภาวะมลพิษที่มีผลต่อสุขภาพอนามัยและคุณภาพชีวิตร่วมกัน




**ภาพที่ 1** แสดงแผนผังระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเทศบาลนครหาดใหญ่

## 2.2 ความหมายของน้ำเสีย

น้ำเสีย (wastewater) หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ต่างๆ อาทิเช่น การชำระล้าง ร่างกาย การประกอบอาหาร การล้างวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรม ฯลฯ ทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากมีสิ่งสกปรกต่างๆ ทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ถ่ายเทลงมาเจือปนอยู่ในน้ำ ความสกปรกของน้ำจึงขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ของน้ำ ดังนั้นน้ำเสียของแต่ละแห่ง จึงมีลักษณะไม่เหมือนกันและสามารถแบ่งได้ 3 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1) น้ำเสียจากชุมชน ได้แก่ น้ำเสียอันเกิดจากกิจกรรมต่างๆในการดำรงชีวิตของมนุษย์ สิ่งสกปรกในน้ำเสียประเภทนี้มักเป็นสารอินทรีย์

2) น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากขบวนการต่างๆ ในขบวนการอุตสาหกรรม สิ่งสกปรกในน้ำเสียที่มีทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ขึ้นกับลักษณะการใช้น้ำและชนิดของโรงงาน

3) น้ำเสียจากการเกษตร ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการเกษตร มลสารสำคัญ ได้แก่ สารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย สารพิษปรอท และยากำจัดศัตรูพืช เป็นต้น

สิ่งเจือปนที่ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำเสียประกอบด้วยสิ่งต่างๆ ที่สามารถจำแนก ตามประเภทของสารมลพิษนั้นๆ ได้ดังนี้

1) สารอินทรีย์ (oxygen consuming matter, organic matter) หมายถึง สารที่มีลักษณะทำให้ออกซิเจนละลายน้ำหมดไป เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ในน้ำ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำที่ต้องการออกซิเจน เพื่อใช้ในการหายใจ

2) สารอนินทรีย์ (inorganic matter) หมายถึง สารแขวนลอย ตะกอนฝุ่นที่ทำให้น้ำขุ่น และลดความเข้มของแสงในน้ำ ทำให้มีผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสงของพืชในน้ำ

3) สารอาหาร (nutrients) หมายถึง สารที่ทำให้พืชน้ำ หรือ สาหร่าย เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว สารอาหารมักประกอบไปด้วยธาตุอาหารที่สำคัญ คือ ไนโตรเจน (nitrogen) และฟอสฟอรัส (phosphorus) ซึ่งมักเกิดจากการใช้ปุ๋ยในการเกษตรกรรม ผงซักฟอกจากการซักล้างของมนุษย์ จากโรงงานอุตสาหกรรม หรือจากสิ่งปฏิกูลของมนุษย์ การเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืชน้ำ หรือสาหร่ายจะทำให้ทางน้ำตื้นเขินเร็วกว่าปกติ และยังทำให้ออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen, DO) ในเวลากลางคืนมีค่าลดลงเนื่องจากการหายใจของพืชน้ำ และสาหร่ายดังกล่าว

4) สารพิษ (toxic matter) หมายถึง สารพวก กรด ด่าง สารกัมมันตรังสี และสารเคมีที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต เช่น โลหะหนัก ยาฆ่าแมลง สารกัมมันตรังสี และสารเคมีต่างๆ ที่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิต เป็นต้น

5) อื่นๆ เช่น น้ำมันและไขมัน สี และกลิ่นจากน้ำเสีย หรือสารที่ทำให้เกิดฟอง เช่น สารเคมีในผงซักฟอก เป็นต้น

## 2.3 ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (waste stabilization ponds)

ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันมากระบบหนึ่ง เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน และไม่ต้องใช้เทคโนโลยีชั้นสูงในการควบคุมการทำงานของระบบ โดยทั่วไประบบบ่อบำบัดน้ำเสีย จะต้องอาศัยหลักการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม การออกแบบ และการควบคุมการทำงานของระบบบ่อบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพก็มีตัวแปรต่างๆ ที่ต้องคำนึงถึงอยู่มาก โดยทั่วไปนิยมใช้ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย เพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง หรือใช้เป็นบ่อปรับสภาพน้ำครั้งสุดท้าย เช่น ต่อจากระบบตะกอนเร่ง หรือการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี เพื่อปรับคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น ให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดกระทรวงอุตสาหกรรม หรือกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม จึงจะระบายลงแหล่งรับน้ำได้ จะเห็นได้ว่าระบบบ่อบำบัดน้ำเสียจะต้องใช้เนื้อที่มาก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียชนิดอื่นๆ จึงมีความเหมาะสมเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียในบริเวณที่ที่ดินมีราคาถูก

ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปจะสร้างเป็นบ่อดินธรรมดา ขอบบ่อจะเป็นคันดินและลาดเอียงลงสู่ก้นบ่อ เพื่อป้องกันการพังทลายของขอบบ่อ หรืออาจจะคาดด้วยคอนกรีต หรือวัสดุอื่นๆ เพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำในบ่อได้ ในปัจจุบันระบบบ่อบำบัดน้ำเสียนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย ทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และจากชุมชนที่มีสารอินทรีย์ (organic matter) เป็นองค์ประกอบหลัก ตัวอย่างโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียได้แก่ โรงงานผลิตอาหารกระป๋อง โรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง โรงงานแป้งมันสำปะหลัง และโรงงานฟอกหนัง เป็นต้น

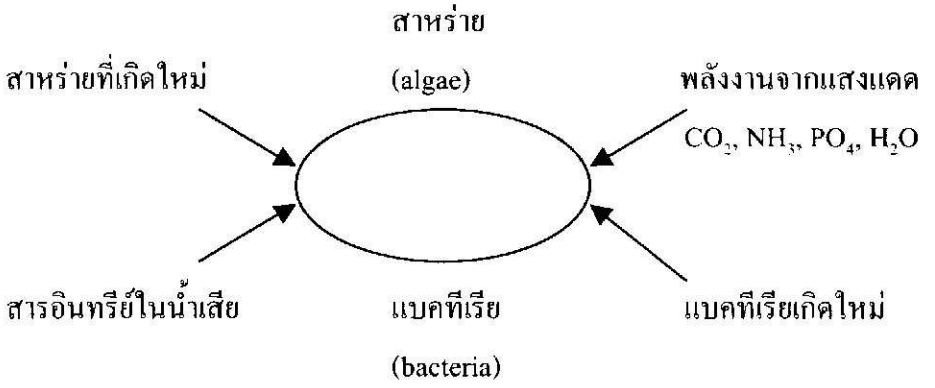
ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียสามารถจำแนกประเภทตามปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในบ่อบำบัด น้ำเสียได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) บ่อผึ่ง (oxidation pond)
2) บ่อปรับสภาพ (polishing หรือ maturation pond)
3) บ่อแบบผสม (facultative pond)
4) บ่อไร้อากาศ (anaerobic pond)
5) บ่อเติมอากาศ (aerated lagoon)

### 2.3.1 บ่อผึ่ง (oxidation pond)

บ่อผึ่งเป็นบ่อที่นิยมใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่มีค่าไม่สูงมากนัก เหมาะสำหรับใช้บำบัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดอื่นๆ มาแล้ว จึงใช้เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียในตอนท้ายของระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมด ซึ่งอาจจะมี polishing pond ซึ่งเป็นบ่อที่ใช้ปรับคุณภาพน้ำเสียเพื่อทำการบำบัดสารอินทรีย์ที่ยังเหลืออยู่ หรือเป็นบ่อกักตะกอนขั้นสุดท้ายของระบบบ่อบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะระบายน้ำทิ้งลงแหล่งน้ำ

บางครั้งมีการเรียกบ่อชนิดนี้ว่า บ่อเขียว เนื่องจากมีสาหร่ายซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียวเกิดขึ้นในบ่อ ทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อผึ่งมีค่าของแข็งแขวนลอยสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการใช้บ่อปรับสภาพเพื่อปรับสภาพน้ำเสียอีกครั้งหนึ่งก่อนปล่อยน้ำทิ้ง หรือทำการบำบัดน้ำที่ออกจากบ่อด้วยการกรอง แต่พบว่าวิธีนี้มีปัญหาในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ยังอาจใช้ระบบพื้นที่เปียก (wetland) เพื่อทำการลดปริมาณสารอินทรีย์และของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก็ได้ การทำงานของบ่อผึ่งอาศัยการทำงานแบบพึ่งพาอาศัยกัน (symbiosis) ของสาหร่ายและแบคทีเรีย ดังแสดงตามภาพที่ 1




<u>ภาพที่ 2</u> การทำงานร่วมกันระหว่างแบคทีเรียกับสาหร่าย
ที่มา : สมทิพย์, อุดมผล, เจิดจรรย์ และพนาลี (2541)

ในปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ของสาหร่ายจะให้ออกซิเจน ซึ่งแบคทีเรียจะใช้ออกซิเจนนี้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และนำพลังงานที่ได้ไปใช้ในขบวน

การสังเคราะห์แสงต่อไป เนื่องจากบ่อผึ่งอาศัยแสงแดดในขบวนการสังเคราะห์ ความลึกของบ่อจึงไม่ควรเกิน 1 เมตร เพื่อให้แสงแดดส่องถึงก้นบ่อ

### 2.3.2 บ่อปรับสภาพ (polishing หรือ maturation pond)

เป็นบ่อที่มีหลักการทำงานในการลดปริมาณสารอินทรีย์เช่นเดียวกับบ่อผึ่ง ความลึกของบ่อใกล้เคียงกับบ่อผึ่ง แต่รับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ($BOD_5$ loading rate) น้อยกว่าบ่อผึ่ง ทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่ออกจากบ่อปรับสภาพมีค่าต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับบ่อผึ่ง บ่อประเภทนี้มักใช้เป็นบ่อสุดท้ายในระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมด เพื่อทำการปรับสภาพน้ำก่อนปล่อยทิ้ง

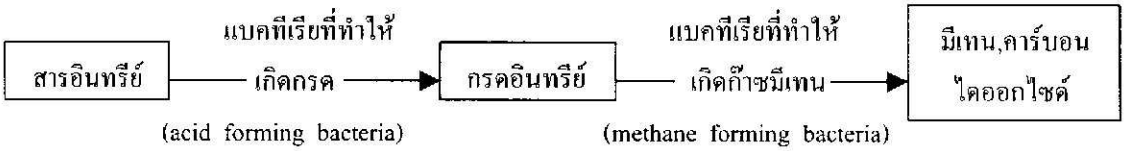
### 2.3.3 บ่อแบบผสม (facultative pond)

บ่อแบบผสมเป็นบ่อที่มีความลึกไม่มากนัก ประมาณ 1.2-2.0 เมตร ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อชนิดนี้อาจแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ในชั้นบนส่วนผิวของบ่อที่มีแสงแดดส่องถึงจะเกิดปฏิกิริยาชีวเคมี โดยอาศัยการทำงานของสาหร่ายและแบคทีเรีย เช่นเดียวกับบ่อผึ่งและบ่อปรับสภาพ ชั้นของบ่อส่วนนี้จะมีออกซิเจน จึงเรียกว่า aerobic zone ส่วนชั้นล่างสุดของบ่อจะเกิดการสะสมของตะกอนและเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนเรียกว่า anaerobic zone การย่อยสลายสารอินทรีย์ในส่วนนี้เกิดจาก anaerobic bacteria สำหรับชั้นกลางจะมีส่วนหนึ่งที่มีออกซิเจนและอีกส่วนหนึ่งที่มีสภาพไร้ออกซิเจน การย่อยสลายสารอินทรีย์ในชั้นนี้ อาศัยหลักการทำงานของ facultative bacteria ซึ่งแบคทีเรียประเภทนี้จะทำงานได้ทั้งสภาพที่มีออกซิเจน และไร้ออกซิเจน

### 2.3.4 บ่อไร้อากาศ (anaerobic pond)

บ่อไร้อากาศเหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูง หรือมีค่า $BOD_5$ สูง จึงใช้เป็นบ่อบำบัดขั้นแรกๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ทำการบำบัดในบ่อบำบัดชนิดนี้ ไม่ควรมีของแข็งแขวนลอยเกินกว่า 1000 mg/L เพราะจะทำให้เกิดตะกอนตื้นเขินที่ก้นบ่อได้เร็ว ไม่สะดวกในการขุดลอกออก เนื่องจากบ่อชนิดนี้อาศัยหลักการทำงานของแบคทีเรียที่ไร้อากาศ (anaerobic bacteria) จึงควรสร้างบ่อให้มีความลึกมากกว่า 2.5 เมตร และมีค่าภาระบรรทุกต่อพื้นที่ผิว (surface loading) สูงด้วย ทั้งนี้เพื่อควบคุมสภาพของบ่อให้อยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจนอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ว่าบริเวณผิวบนของบ่อจะได้รับการถ่ายเทออกซิเจนบ้างเล็กน้อยจากแรงลม แต่จากสภาพการออกแบบดังกล่าวจะไม่ทำให้สาหร่ายดำรงชีพในบ่อไร้อากาศ

หลักการทำงานของระบบแบ่งตามปฏิกิริยาชีวเคมี 2 ขั้นตอน ดังภาพที่ 2 โดยในขั้นแรก สารอินทรีย์ต่างๆ จะถูกแบคทีเรียประเภทที่ดำรงชีพอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนกลุ่มหนึ่งเรียกว่า acid former ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้เกิดกรดอินทรีย์ที่สำคัญได้แก่ acetic acid และ propionic acid การเกิดกรดอินทรีย์นี้ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นฉุน เกิดตะกอนสีเหลืองแกมเทา ขั้นที่สอง กรดอินทรีย์ต่างๆ ที่เกิดในขั้นแรกจะถูกเปลี่ยนต่อไป โดยการย่อยสลายต่อไปจนได้ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การย่อยสลายในขั้นตอนนี้เกิดขึ้นจากแบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งเรียกว่า methane former bacteria ที่ผิวบ่อไร้อากาศมักมีฝ้าลอยอยู่บนผิวน้ำ นอกจากนี้จะเกิดตะกอนสีดำตกอยู่ที่ก้นบ่อ และมักจะมีปัญหาเรื่องกลิ่นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อีกด้วย




**ภาพที่ 3** ปฏิกิริยาชีวเคมีในบ่อแอนแอโรบิก
ที่มา : สมทิพย์, อุดมผล, เจิดจรรย์ และพนาลี (2541)

### 2.3.5 บ่อเติมอากาศ (aerated lagoon)

บ่อเติมอากาศเหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูง หรือมีค่า $BOD_5$ สูง จึงมักใช้เป็นบ่อบำบัดขั้นแรกๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยการเพิ่มเครื่องเติมอากาศอาจเป็นแบบทุ่นลอย หรือแบบอื่นๆ การนำเครื่องเติมอากาศมาใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในบ่อให้อยู่ในสภาพที่ออกซิเจนอย่างเพียงพอ (aerobic facultative condition) ซึ่งระบบนี้จะแตกต่างจากระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) ตรงที่ไม่จำเป็นต้องมีถังตกตะกอนและการสูบตะกอนกลับสู่ถังเติมอากาศเหมือนระบบตะกอนเร่ง

**ตารางที่ 1** ตัวแปรในการออกแบบระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย

| ระบบบ่อ | ความลึก (เมตร) | ระยะเวลากักพัก (วัน) | $BOD_5$ loading ($kg.BOD_5/ha.d$) | ประสิทธิภาพการลด $BOD_5$ (%) | SS ในน้ำที่บำบัดแล้ว (mg/L) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. บ่อผึ่ง | 1.0-2.0 | 10-40 | 70-130 | 80-95 | 80-140 |
| 2. บ่อปรับสภาพ | 1.0-1.5 | 5-20 | <20 | 60-80 | 10-30 |
| 3. บ่อแบบผสม | 1.2-2.0 | 5-30 | 50-200 | 80-95 | 40-60 |
| 4. บ่อไร้อากาศ | 2.5-5.0 | 20-50 | 220-560 | 50-85 | 80-160 |
| 5. บ่อเติมอากาศ | 2.0-6.0 | 3-10 | - | 80-95 | 80-250 |

ที่มา : Metcalf & Eddy (1991)

## 2.4 ทฤษฎีการบำบัดน้ำเสียโดยพืชน้ำ

การบำบัดน้ำเสียโดยพืชน้ำ (aquatic plants for wastewater treatment) อาศัยปัจจัยหลักคือ การเจริญเติบโตของพืชน้ำเอง และจุลินทรีย์ซึ่งอาศัยอยู่บริเวณรากของพืชซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำการย่อย (metabolite) สารอาหาร เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ นอกจากนี้ยังอาศัยหลักการตกตะกอน (physical-sedimentation) ของน้ำเสียเอง ซึ่งถ้าพิจารณาถึงข้อดีของระบบบำบัดน้ำเสียโดยพืชน้ำแล้วพอจะกล่าวได้ดังนี้ (อภิชัย, 2533)

1) สภาพภูมิประเทศของประเทศไทยเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชน้ำโดยทั่วไป
2) ระบบบำบัดน้ำเสียโดยพืชน้ำไม่ต้องการใช้พลังงานจากแหล่งใดๆ นอกจากพลังงานดวงอาทิตย์
3) การควบคุมการทำงานของระบบไม่ยุ่งยาก ไม่ต้องใช้ผู้ดูแลที่มีความรู้มาก
4) พืชน้ำที่เก็บเกี่ยวได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้ เช่น ทำปุ๋ยหมัก ผลิตก๊าซมีเทน หรือทำผลิตภัณฑ์หัตถกรรม เป็นต้น

แบคทีเรียในระบบการบำบัดน้ำเสียแบบนี้นั้น ใช้รากของพืชน้ำ และลำต้นของพืชน้ำในระบบเป็นที่อยู่อาศัย (habitat) ออกซิเจนซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็น สำหรับแบคทีเรียในการย่อยสลายของเสียแบบใช้ออกซิเจน (aerobic digestion) ได้มาจากการที่ออกซิเจนละลายลงในน้ำส่วนหนึ่ง แต่ส่วนใหญ่แล้วแบคทีเรีย จะได้ออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำในระบบ ซึ่งบางส่วนของออกซิเจนเหล่านี้จะถูกส่งไปยังราก และลำต้นที่มีแบคทีเรียอาศัยอยู่

การบำบัดน้ำเสียด้วย aquatic treatment system นี้ สามารถลดค่าบีโอดี (biological oxygen demand) ซีโอดี (chemical oxygen demand) ของแข็งแขวนลอยรวม (total suspended solids) ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โลหะหนัก สารอินทรีย์ ไวรัส และแบคทีเรียที่เป็นอันตรายได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการบำบัดน้ำเสียแบบอื่นๆ ที่ต้องใช้เครื่องจักรและพลังงานเชื้อเพลิงในการบำบัด เช่น ระบบลานกรอง (trickling filter) ระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) ระบบคลองวนเวียน (oxidation ditch) เป็นต้น พบว่าแม้แต่ละระบบจะมีประสิทธิภาพต่างกัน แต่ข้อที่ดีกว่าของระบบบำบัดโดยใช้พืชน้ำ (aquatic treatment system) ก็คือ ไม่ต้องใช้พลังงานหรือใช้น้อยมาก ดูแลรักษาง่าย ไม่ต้องการผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมกระบวนการบำบัด แต่ในขณะเดียวกันข้อเสียคือ ต้องใช้เวลานานในการบำบัด และต้องใช้เนื้อที่มาก

**2.5 พรรณไม้น้ำ (aquatic plants)**

พรรณไม้น้ำหรือพืชน้ำ ตรงกับภาษาอังกฤษว่า aquatic plants, water plants หรือ hydrophytes หมายถึง พืชที่ขึ้นอยู่ในน้ำ โดยอาจจะอยู่ใต้น้ำ อยู่โผล่เหนือน้ำ ลอยอยู่ที่ผิวน้ำ หรือขึ้นอยู่ตามริมน้ำ ชายน้ำ ริมตลิ่ง นอกจากนี้ยังรวมถึงพวกที่เจริญเติบโตอยู่ในบริเวณที่น้ำขังแฉะด้วย

พรรณไม้น้ำหรือพืชน้ำมีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศวิทยาแหล่งน้ำมาก นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อมในการเป็นอาหาร เป็นที่หลบภัยของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ ปลาต่างๆ ตลอดรวมทั้งสัตว์ปีกที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจ ข้าวซึ่งเป็นอาหารที่สำคัญของมนุษย์ส่วนใหญ่จัดได้ว่าเป็นพืชน้ำชนิดหนึ่ง พืชน้ำอีกหลายอย่างใช้เป็นอาหารมนุษย์และสัตว์ เช่น กระจับ บัว ผักบุ้ง ผักกระเฉด บางอย่างใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการด้านอุตสาหกรรม วัสดุก่อสร้าง แปรสภาพเป็นปุ๋ย พืชลอยน้ำหรือพืชใต้น้ำมีคุณสมบัติในการดูดซึมแร่ธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำ และเพิ่มปริมาณออกซิเจนในระหว่างขบวนการสังเคราะห์แสง คุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้มีความสัมพันธ์และให้ประโยชน์ต่อมนุษย์มาก เพราะเป็นส่วนช่วยทำให้แหล่งน้ำนั้นสะอาด และช่วยแปรสภาพน้ำให้มีคุณภาพดีขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามการรบกวนหรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของน้ำอาจจะทำให้อัตราการเจริญของพืชน้ำเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็วจนเป็นผลต่อแหล่งน้ำใช้ของมนุษย์ได้

พืชน้ำหรือพรรณไม้น้ำนั้น พบว่ามีตั้งแต่ขนาดเล็กมาก (microphytes) ต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ไปจนถึงขนาดใหญ่ (macrophytes) สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งพืชเหล่านี้จะแยกออกได้เป็นกลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มแอลจี กลุ่มมอส กลุ่มเฟิร์น และกลุ่มพืชมีเมล็ด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าพรรณไม้น้ำนั้นประกอบด้วยกลุ่มพืชตั้งแต่ขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่

พรรณไม้น้ำเป็นกลุ่มพืชที่มีการเจริญเติบโตได้ในแหล่งน้ำที่ต่างกันไป เช่น บางชนิดเจริญเติบโตที่ระดับผิวน้ำ บางชนิดเจริญเติบโตอยู่ที่ใต้น้ำ เป็นต้น นั่นคือมีลักษณะทางนิเวศวิทยา แตกต่างกันไปจากลักษณะเช่นนี้ ทำให้มีการแบ่งประเภทพรรณไม้น้ำได้ดังนี้ (สุชาดา, 2530)

1. พืชใต้น้ำ (submerged plants) พรรณไม้น้ำประเภทนี้เป็นพวกที่มีการเจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำทั้งหมด โดยอาจจะมีรากยึดเกาะกับพื้นใต้น้ำหรือไม่ยึดเกาะก็ได้ บางชนิดทั้งลำต้นและรากเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ ส่งลำต้นบางส่วนและใบเจริญเติบโตอยู่ใต้ระดับน้ำ บางชนิดรากเกาะยึดกับพื้นดินใต้น้ำ ส่วนลำต้นและใบเจริญอยู่ใต้ระดับน้ำ บางครั้งพืชพวกนี้จะส่งดอกขึ้นมาเจริญที่ผิวน้ำหรือเหนือน้ำ และเมื่อเป็นผลแล้วบางอย่างเจริญที่ผิวน้ำหรือใต้น้ำ พืชพวกนี้ เช่น สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด เป็นต้น

2. พืชโผล่เหนือน้ำ (emerged plants) พรรณไม้ประเภทนี้เป็นพวกที่มีการเจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำบางส่วนและหนือน้ำบางส่วน โดยที่มีรากหรือทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ แล้วส่งส่วนใบและดอกขึ้นมาเจริญเหนือน้ำ พืชพวกนี้ เช่น บัวต่างๆ กกบางชนิด ต้นเทียนนา เป็นต้น พืชประเภทนี้บางชนิดตามโคนมีเนื้อเยื่อโปร่ง (aeronochymatous tissue) ทำหน้าที่เก็บอากาศเพื่อช่วยในการหายใจ เช่น ต้นเทียนนา

3. พืชลอยน้ำ (floating plants) พรรณไม้น้ำประเภทนี้เป็นพวกที่เจริญลอยอยู่ระดับน้ำ โดยมีรากห้อยลอยอยู่ในน้ำ ส่วนต้น ใบ และดอก เจริญที่เหนือน้ำ พรรณไม้น้ำประเภทนี้บางอย่างถ้าน้ำตื้นๆ รากจะหยั่งพื้นดินใต้น้ำก็ได้ นอกจากนี้พวกที่มีขนาดเล็กมักลอยตัวได้เป็นอิสระ พืชลอยน้ำส่วนใหญ่มักจะมีส่วนหนึ่งส่วนใดเปลี่ยนไปเป็นทุ่นเพื่อพยุงลำต้นให้ลอยน้ำได้ ต้นผักตบชวามีส่วนของก้านใบพองตัวเป็นทุ่น (buoyancy leaf) ต้นผักบุ้งมีส่วนลำต้นที่ภายในกลวงเป็นช่องอากาศใหญ่ ช่วยให้ลำต้นเลื้อยทอดลอยไปตามผิวน้ำได้ เป็นต้น

4. พืชชายน้ำ (marginal plants) พรรณไม้น้ำประเภทนี้มักขึ้นอยู่ตามชายน้ำ ริมตลิ่ง ชายคลอง หนองน้ำ หรือทะเลสาป ลักษณะโดยทั่วไปนั้นจะมีรากหรือทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินส่งบางส่วนของต้น ใบ และดอกเหนือน้ำ พืชน้ำประเภทนี้ใกล้เคียงกับพืชพวกโผล่เหนือน้ำมาก พืชบางอย่างพบว่าจำแนกได้ทั้งเป็นพืชโผล่เหนือน้ำและพืชชายน้ำ เช่น ต้นผักตบไทย ต้นโสน และกกบางอย่าง เป็นต้น

พรรณไม้น้ำทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะเห็นว่า การจัดแบ่งเป็นประเภทต่างๆ นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของแหล่งที่อยู่ของพืชนั้นๆ ทุกประเภทค่อนข้างจะแตกต่างกันเห็นได้ชัด ยกเว้นพวกพืชโผล่เหนือน้ำ

และเป็นพืชชายน้ำเท่านั้นที่แยกไม่ได้เด็ดขาด นอกจากนี้ยังมีพืชอีกหลายอย่างที่พบว่าสามารถขึ้นได้ทั้งบนบกและในน้ำ หรือขึ้นอยู่ในน้ำแล้ว แต่ถ้าบริเวณนั้นเกิดขาดน้ำจนพื้นดินเริ่มแห้งก็ยังปรับตัวอยู่ได้ เช่น ต้นกระเม็ง ต้นผักแว่น ต้นปรงทองปรงไข่ เป็นต้น

**ตารางที่ 2** แสดงหลักการทำงานของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสีย

| ส่วนของพืช | หลักการทำงานของพืช |
|---|---|
| ราก และ/หรือ ก้าน หรือลำต้น ที่อยู่ในน้ำ | - ดูดซับ (up take) สารพิษและสารอาหาร<br>- เป็นพื้นผิวให้จุลินทรีย์อาศัย และเจริญเติบโต<br>- เป็นตัวกลางในการกรอง (filtration) และดูดซับ (absorption) ตะกอน และของแข็งที่ลอยอยู่ในน้ำ<br>- ทำให้ความเข้มของแสงแดดที่ส่องตรงสู่ผิวน้ำลดลง ดังนั้นจึงช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่อยู่ในน้ำ |
| ก้าน, ลำต้น และ/หรือใบ ที่อยู่เหนือน้ำ | - ลดผล (effect) ของลมที่มีต่อน้ำ เช่น การพัดและทำให้ตะกอนที่จมอยู่ขุ่นขึ้นมา<br>- ทำให้การส่งผ่าน (transfer) ของก๊าซและความร้อนระหว่างบรรยากาศและน้ำลดลง |

ที่มา : Stowell et.al. (1981)

**2.6 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักตบชวา**

ผักตบชวา ผักป่อง หรือผักสวะ (WATER-HYACINTH) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Eichhornia crassipes (mart.) Solm อยู่ในสกุล (genus) Eichhornia Kunth. วงศ์ (family) Pontederiacae จัดเป็นพืชมีดอก (division trache-ophyta) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบทวีปอเมริกาใต้ เริ่มนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยครั้งแรกในสมัยรัชกาลที่ 5 จากประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งเป็นที่มาของชื่อผักตบชวา (ดังแสดงในภาพที่ 4)

ผักตบชวา Eichhornia crassipes (mart.) Solms เป็นพรรณไม้น้ำหรือพืชน้ำ (aquatic plants, Water plants, hydrophytes) พวกที่ขึ้นในบริเวณน้ำจืด (limnophyte) เป็นพวกที่เจริญลอยอยู่ที่ระดับน้ำ โดยมีรากห้อยลอยอยู่ในน้ำ ใบ และดอก เจริญที่เหนือน้ำ เรียกว่า พืชลอยน้ำ (floating plants)

Central Library
Prince of Songkla University

มีส่วนของก้านใบพองตัวเป็นทุ่น (buoyancy leaf) เพื่อพยุงลำต้นให้ลอยน้ำได้ ผักตบชวาเป็นไม้น้ำประเภทล้มลุกที่มีอายุข้ามปี รากเป็นระบบรากฝอย ปลายรากมีหมวกราก (root cap) เห็นได้ชัด ลำต้นเป็นไหลทอดไปตามผิวน้ำ ใบแตกเป็นกอ โคนก้านใบแผ่เป็นกาบหุ้มประกบกันไว้ ช่อดอกเกิดที่ลำต้นที่เหมือนก้านใบ ช่อดอกแบบ spike ดอกย่อยสีม่วง ประกอบด้วยกลีบรวม 6 กลีบ สีม่วงคราม ลักษณะดอกแบ่งออกเป็น 2 ซีกแล้วเหมือนกันเพียงครึ่งเดียว (zygomorphic) คือ มีกลีบหนึ่งที่ใหญ่มาก ตรงกลางกลีบมีแต้มสีเหลือง ชั้นเกสรตัวผู้ประกอบด้วยเกสรตัวผู้ 6 อัน สั้นยาวไม่เท่ากัน เกสรตัวเมียประกอบด้วยรังไข่ที่มี carpel 3 ช่อง ก้านชูยอดเกสรยาวหรือสั้น ดอกเมื่อได้รับการผสมแล้วก้านช่อดอก (peduncle) จะยืดออกแล้วโค้งลง ผลเป็นแบบ capsule ภายในมีเมล็ดจำนวนมาก

**ภาพที่ 4** ผักตบชวา (Eichornia crassipes (Mart.) Solms)

a ดอก x 2/4 b ดอก (ตัดตามยาว) แสดงเกสรตัวผู้ที่สั้นยาวไม่เท่ากัน x 4/5

c ใบ x 2/5 d รังไข่ (ตัดตามขวาง) x 8

e แสดงลักษณะของช่อดอก ใบซึ่งพองเป็นทุ่นลอย และราก x 2/5

ที่มา : Correll, Donovan S. และ Helen B. Correll (1975)

**2.7 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักบุ้ง**

ผักบุ้งไทย หรือผักทอดยอด (WATER SPINACH หรือ SWAMP CABBAZE) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Ipomoea aquatica Forsk. หรือ Ipomoea reptans Poir. (ดังแสดงในภาพที่ 5)

ผักบุ้งเป็นพรรณไม้น้ำ และเป็นไม้ล้มลุกหลายปี ลำต้นเลื้อยทอดไปตามน้ำ หรือในที่ลุ่มที่มีความชื้น หรือดินแฉะๆ ลำต้นกลวง สีเขียว มีข้อปล้อง และมีรากออกตามข้อได้ เป็นใบเดี่ยวออกแบบสลับ เช่น รูปไข่ รูปไข่แถบขอบขนาน รูปหอก รูปหัวลูกศร ขอบใบเรียว หรือมีคว่ันเล็กน้อย ปลายใบแหลมหรือมน ฐานใบเว้าเป็นรูปหัวใจใบยาว 3-15 เซนติเมตร กว้าง 1-9 เซนติเมตร ดอกเป็นรูประฆัง ออกที่ซอกใบ แต่ละช่อมีอกย่อย 1-5 ดอก กลีบเรียงสีเขียว กลีบดอกมีทั้งสีขาว สีม่วงแดง สีชมพูม่วง กลีบดอกจะติดกันเป็นรูปกรวย มีสีขาวอยู่ด้านบน และมีสีม่วงหรือสีชมพูอยู่ที่ฐาน เกสรตัวผู้มี 5 อัน ยาวไม่เท่ากัน ผลเป็นแบบแคปซูลรูปไข่ หรือกลมสีน้ำตาล มีเมล็ดกลมสีดำ ผักบุ้งเป็นพืชที่ขยายพันธุ์ง่าย และรวดเร็วปลูกโดยการแยกกิ่งแก่ไปปักชำ

**ภาพที่ 5** ผักบุ้ง (Ipomoea aquatica Fork. หรือ Ipomoea reptans Poir.)

**2.8 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักกระเฉด**

ผักกระเฉดเป็นพืชวงศ์ถั่วเรียกว่า water minosa ชื่อทางพฤกษศาสตร์คือ Neptunia prostrata (Lam) Baili หรือ Neptunia oleracea Lour (ชูศักดิ์, 2530) (ดังแสดงในภาพที่ 6)

ผักกระเฉดเป็นพืชพื้นเมืองของประเทศในเขตร้อนและชุ่มชื้น เป็นพืชลอยน้ำ มีการเจริญเติบโตแบบเลื้อยทอดไปตามผิวน้ำ ปลายยอดชูกระดกตั้งขึ้น ลำต้นแตกแขนงตามข้อ ระหว่างข้อกับปล้องมีนวมสีขาวคล้ายฟองน้ำ หุ้มติดอยู่เพื่อทำหน้าที่พยุงให้ผักกระเฉดลอยน้ำ รากแตกแขนงออกจากข้อ ใบประกอบแบบขนนกสองชั้น ใบย่อยขนาดเล็กและมีความรู้สึกไวต่อสิ่งเร้ามาก ดอกออกช่อเป็นแบบ head ออกเดี่ยวอยู่ตามซอกใบ ดอกสีเหลืองสด ช่อดอกประกอบด้วยดอกย่อยที่มีทั้งดอกสมบูรณ์เพศ ดอกเพศผู้และดอกที่เป็นหมัน ผลเป็นฝักแบน มีเมล็ด 4-20 เม็ด การเจริญเติบโตของผักกระเฉดจะตอบสนองต่อความสั้นและยาวของช่วงแสงด้วย กล่าวคือ ในฤดูร้อนมีกลางวันยาว เช่น ในเดือนมีนาคม-เมษายน ผักกระเฉดจะเจริญเติบโตทอดยอดยาว และช่วงเดือนมิถุนายน-กันยายน ก็ยังมีระยะกลางวันยาวอยู่ หากเป็นฤดูฝนผักกระเฉดเจริญเติบโตได้ดีพอสมควร แต่คุณภาพที่ได้ไม่ค่อยดี นอกจากนี้โรคและแมลงยังชอบทำลายทำให้ยอดเสียหายด้วย สำหรับในช่วงพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ เป็นฤดูหนาวอากาศค่อนข้างเย็นและมีช่วงกลางวันสั้น ผักกระเฉดจะไม่ค่อยทอดยอดยอดจึงสั้นไม่สวย ผักกระเฉดนอกจากจะขึ้นเป็นวัชพืชตามธรรมชาติแล้ว ยังมีผู้ปลูกเอาไว้บริโภคและจำหน่ายด้วย แต่ก่อนนี้ผักกระเฉดเป็นพืชพื้นบ้านซึ่งไม่มีผู้ใดสนใจมากนัก เป็นผักน้ำที่หาง่ายและราคาถูก แต่ในปัจจุบันนี้ได้มีผู้ปลูกทำกันเป็นอาชีพ และมีรายได้ดีและปลูกกันในนาเป็นนาผักกระเฉดโดยเฉพาะ

**ภาพที่ 6** ผักกระเฉด (Neptunia prostrata (Lam) Baili หรือ Neptunia oleracea Lour)

## 2.9 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียโดยพืชน้ำ

Wolverton (1979) ได้ศึกษาการใช้ผักตบชวาบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยแบบครั้งคราว (batch system) ใช้เวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 6-7 วันพบว่า ผักตบชวามีประสิทธิภาพในการลดบีโอดีเฉลี่ย 1.5 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักเปียกของผักตบชวา และเมื่อรวมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ด้วยประสิทธิภาพการลดบีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียจะเพิ่มเป็น 4.0 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักเปียกของผักตบชวา และเมื่อมีการเติมให้น้ำเสียมีความเข้มข้นของ Phenol เท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาการเก็บกักน้ำทิ้ง 7 วัน ผักตบชวาจะมีประสิทธิภาพในการลดบีโอดีเฉลี่ย 1.4 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักเปียกของผักตบชวา เมื่อรวมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ประสิทธิภาพการลดบีโอดีเท่ากับ 3.5 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักเปียกของผักตบชวา

MacDonald และ Wolverton (1980) ศึกษาเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยโดยใช้และไม่ใช้ผักตบชวาในบ่อขนาดพื้นที่ผิว 3.6 แฮกตาร์ ความลึกเฉลี่ย 1.73 เมตร ในการศึกษา 3 ปี ระหว่างเดือนกรกฎาคม-พฤศจิกายน ปีแรกใส่ผักตบชวาเต็มพื้นที่มีปริมาณน้ำเสียเข้าระบบเฉลี่ย 935 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในปีที่สองใส่ผักตบชวา 33% ของพื้นที่ผิวบ่อมีปริมาณ น้ำเสียเข้าบ่อเฉลี่ย 1,240 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในปีที่สามไม่ใส่ผักตบชวา มีปริมาณน้ำเสียที่เข้าบ่อเฉลี่ย 957 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ผลการศึกษาพบว่า การใส่ผักตบชวาในบ่อจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** แสดงค่าเฉลี่ย 5 เดือน (กรกฎาคม-พฤศจิกายน) ของการทดลอง 3 ปีเปรียบเทียบประสิทธิภาพของบ่อในการบำบัดน้ำเสีย

| ตัวแปร | 100% ผักตบชวา | | 33% ผักตบชวา | | 0% ผักตบชวา | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | น้ำเข้า | น้ำออก | น้ำเข้า | น้ำออก | น้ำเข้า | น้ำออก |
| $BOD_5$ (mg/L) | 161 | 23 | 121 | 25 | 127 | 52 |
| TSS (mg/L) | 125 | 6 | 85 | 57 | 140 | 77 |
| TKN (mg/L) | 30.3 | 14.4 | 26.2 | 14.8 | 28.2 | 187.7 |
| TP (mg/L) | 8.5 | 7.9 | 7.8 | 8.2 | 8.1 | 8.6 |
| TOC (mg/L) | 93 | 40 | 73 | 60 | 66 | 72 |
| DO (mg/L) | 1.5 | 0.6 | 2.2 | 0.8 | 2.1 | 4.4 |
| pH | 7.3 | 7.0 | 7.1 | 7.1 | 7.3 | 7.7 |

ที่มา : MacDonald และ Wolverton (1980)

Wolverton และ MacDonald (1979) ศึกษาการใช้ผักตบชวาบำบัดน้ำเสียในบ่อบำบัดจริง พบว่า ผักตบชวาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดีได้ดี และมีอัตราการเจริญเติบโตร้อยละ 6 ต่อวัน

H.M. Orth และ D.P. Sapkota (1988) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัย โดยเปรียบเทียบระหว่างบ่อผักตบชวาและบ่อผึ่งที่ไม่มีผักตบชวา (facultative pond) โดยบ่อผักตบชวามีขนาดพื้นที่ผิว 0.46 แฮกตาร์ และบ่อผึ่งที่ไม่มีผักตบชวามีขนาดพื้นที่ผิว 0.49 แฮกตาร์ ความลึกเฉลี่ยของบ่อทั้งสองบ่อคือ 1.3 เมตร น้ำเสียที่ใช้ผ่านการบำบัดมาแล้วจากบ่อหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic pond) โดยมีระยะเวลากักพัก (detention time) 12 วัน ระยะเวลาในการศึกษา 4 เดือน ค่าความสกปรกของน้ำเสียต่อพื้นที่ผิวของบ่อในรูปบีโอดีเท่ากับ 48 กิโลกรัมต่อแฮกตาร์ต่อวัน ผลการศึกษาพบว่า บ่อผักตบชวามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าบ่อผึ่งที่ไม่มีผักตบชวา ดังแสดงในตารางที่ 3

**ตารางที่ 4** แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำระหว่างบ่อที่มีผักตบชวาและบ่อผึ่ง

| ตัวแปร | Facultative Pond | | Water hyacinth pond | |
|---|---|---|---|---|
| | น้ำเข้า | น้ำออก | น้ำเข้า | น้ำออก |
| SS (mg/L) | 47 | 55 | 50 | 12 |
| COD (mg/L) | 97 | 95 | 101 | 26 |
| TKN (mg/L) | 9.3 | 6.4 | 9.5 | 2.5 |
| TP (mg/L) | 1.3 | 1.4 | 1.4 | 0.4 |
| DO (mg/L) | 0.4 | 3.3 | 0.7 | 1.2 |
| pH | 7.6 | 8.4 | 7.7 | 7.3 |

ที่มา : H.M. Orth และ D.P. Sapkota (1988)

Dinges (1978) ได้ศึกษาการใช้บ่อผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยซึ่งผ่านการบำบัดมาแล้วด้วยบ่อเติมอากาศและบ่อผันสภาพ (stabilization pond) โดยใช้บ่อผักตบชวาขนาดกว้าง 9.1 เมตร ยาว 64 เมตร ในระยะที่ 1 ของการศึกษา ความลึกเฉลี่ยของน้ำทิ้งในบ่อผักตบชวาประมาณ 1 เมตร ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียประมาณ 5.3 วัน และมีค่าความสกปรกของน้ำเสียต่อพื้นที่ผิวของบ่อผักตบชวาในรูปบีโอดี เท่ากับ 4.34 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน การศึกษาระยะที่สองความลึกเฉลี่ยของน้ำเสียในบ่อทดลองประมาณ 0.85 เมตร ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียประมาณ 4.5 วัน ค่าความสกปรกของ

น้ำเสียต่อพื้นที่ผิวของบ่อผักตบชวาในรูปบีโอดีเท่ากับ 8.89 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน พบว่าบ่อผักตบชวามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดี ผลการทดลองสรุปได้ตามตารางที่ 5

**ตารางที่ 5** แสดงประสิทธิภาพของบ่อผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยที่ออกจากบ่อผันสภาพ

| ตัวแปร | การศึกษาระยะที่ 1 | | | การศึกษาระยะที่ 2 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | น้ำเข้า | น้ำออก | % การลด | น้ำเข้า | น้ำออก | % การลด |
| $BOD_5$ (mg/L) | 22.6 | 5.2 | 77 | 46.5 | 5.7 | 87 |
| COD (mg/L) | 84 | 40 | 52 | 184 | 51 | 72 |
| TKN (mg/L) | 8.16 | 2.47 | 69 | 9.94 | 3.59 | 63 |
| VSS (mg/L) | 38 | 5 | 86 | 97 | 6 | 93 |

ที่มา : Dinges (1978)

Tridech et al., (1989) ได้ศึกษาการใช้พืชน้ำเป็นการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยในการบำบัดน้ำเสียขั้นตติยภูมิ (tertiary treatment) ได้ใช้พืชน้ำหลายชนิดในการทดลองแบบครั้งคราว (batch system) ในอ่างทดลองความจุ 90 ลิตร ผลการทดลองพบว่า ผักตบชวาเป็นพืชน้ำชนิดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารปนเปื้อน ของแข็งและสารอาหารในน้ำทิ้งได้ดี และได้ทำการทดลองแบบต่อเนื่อง (continuous flow study) ในบ่อทดลองขนาด 900 ลิตร บำบัดน้ำทิ้งจากที่พักอาศัยที่ผ่านการบำบัดในระบบ trickling filter ซึ่งเป็นการบำบัดขั้นทุติยภูมิ (secondary treatment) และเติมสารปนเปื้อนเพิ่มเติมพวกโลหะหนักและสารมีพิษ ปรับอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่เข้าระบบให้มีระยะเวลาเก็บกักในบ่อทดลอง 15 วัน ผลการทดลองพบว่าผักตบชวามีประสิทธิภาพในการลดสารต่างๆ ได้ดังนี้ บีโอดีลดได้ 95% ทีโอซีลดได้ 80% ไนโตรเจนทั้งหมดลดได้ 99.2% และผักตบชวามีความสามารถในการดูดซับโลหะหนัก และสารมีพิษได้ดีเทียบเท่ากับ Physical-chemical process

Lee และ Mckim (1981) ได้ใช้ระบบบ่อผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียที่ Walt Disney World จากการศึกษาพบว่า น้ำเสียที่ออกจากระบบได้มาตรฐานของการบำบัดขั้นทุติยภูมิ บ่อผักตบชวามีประสิทธิภาพในการลดบีโอดี และสารแขวนลอยรวม (TSS) ได้ 80-90% ลดไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยได้ประมาณ 30-50% และลดฟอสเฟตได้ประมาณ 20-40%

Reddy และ Tucker (1983) ได้ศึกษาการใช้สารอาหารของผักตบชวา โดยการศึกษาในอ่างทดลองความจุ 300 ลิตร ใช้น้ำสังเคราะห์พบว่า การดูดซับไนโตรเจนของผักตบชวามีแนวโน้มสัมพันธ์กับผลได้มวลชีวภาพของผักตบชวา การดูดซับไนโตรเจนของผักตบชวาอยู่ในช่วง 533–2,161 มิลลิกรัม/ตารางเมตร/วัน ส่วนการดูดซับฟอสฟอรัสนั้นมีแนวโน้มสัมพันธ์กับผลได้มวลชีวภาพ การดูดซับฟอสฟอรัสของผักตบชวาอยู่ในช่วง 59-542 มิลลิกรัม/ตารางเมตร/วัน

Hauser (1984) ได้ศึกษาการใช้บ่อผักตบชวาบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยที่ผ่านการบำบัดขั้นทุติยภูมิของ Rosevill wastewater treatment plant พบว่าบ่อผักตบชวาสามารถลดแอมโมเนียไนโตรเจนในฤดูร้อนได้ 70% และถ้ามีการเติมอากาศจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 99% สำหรับประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนทั้งหมดในฤดูร้อนลดได้ 55% และจะเพิ่มเป็น 70% เมื่อมีการเติมอากาศ น้ำที่ออกจากระบบมีค่าสารแขวนลอยและค่าบีโอดีต่ำกว่า 10 มิลลิกรัม/ลิตร

อภิชัย (2533) ได้ศึกษาความหนาแน่นที่เหมาะสมของผักตบชวาที่จะให้ได้มวลชีวภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำเสียจากเคหะชุมชนห้วยขวาง เท่ากับ 8 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร ซึ่งให้ผลได้มวลชีวภาพสูงสุดสัปดาห์ละ 2.28 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร ประสิทธิภาพของบ่อผักตบชวาในการลดซีโอดี, บีโอดี, สารแขวนลอยรวม, ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 80.9%, 85.8%, 96.4%, 70.6% และ 48.3% ตามลำดับ ประสิทธิภาพของบ่อผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยดีกว่าบ่อควบคุม (ซึ่งไม่ใส่ผักตบชวา) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Wolverton และ MacDonald (1982) พบว่าผักตบชวาลดค่าบีโอดี และของแข็งแขวนลอยในน้ำโดยรากที่หยั่งลงไปในน้ำโดยรากที่หยั่งลงไปในน้ำทำหน้าที่เป็นตัวกรองชีวภาพ (biological filtration agent) อัตราการลดค่าบีโอดี ส่วนหนึ่งขึ้นกับความสามารถของรากในการดูดซึมสารอาหารต่างๆ และกระบวนการทางชีวเคมีในต้น อีกส่วนหนึ่งขึ้นกับจุลินทรีย์ชนิดที่ลอยอยู่ในน้ำ และชนิดที่เกาะอยู่กับรากซึ่งหยั่งลงไปในน้ำซึ่งจะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ไหลผ่าน สำหรับการลดค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำซึ่งส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายเกิดโดยผักตบชวาเจริญเติบโตคลุมผิวน้ำทำให้แสงแดดไม่สามารถส่องผ่านลงไปในน้ำเป็นผลให้สาหร่ายไม่สามารถดำรงชีพได้ รวมทั้งการดูดจับและกรองทำให้น้ำใสและมีของแข็งแขวนลอยต่ำ

วนิดา (2532) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำกับสารอาหารในบึงมักกะสันพบว่า ความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในน้ำหนักแห้งของผักกระเฉดดังนี้ โปแตสเซียม 2.002 ไนโตรเจน 3.585 แคดเมียม 1.054 ฟอสฟอรัส 0.442 และ

แมกนีเซียม 0.176 นอกจากนี้ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของผักกระเฉดคิดเป็นไมโครกรัมต่อกรัมในน้ำหนักแห้งพบว่า มีเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม ในผักกระเฉดเท่ากับ 1,160.27, 288.51, 111.70, 32.40, 16.15 และ 0.64 ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ผักกระเฉดมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำได้ดีและมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

สนธิ (2530) รายงานความสามารถในการเจริญเติบโตของผักตบชวาในน้ำที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง ตะกั่วเท่ากับ 0.05, มากกว่า 3.0 และมากกว่า 5.0 ppm ตามลำดับ ในเวลา 3 สัปดาห์ แสดงว่าความเป็นพิษต่อผักตบชวาของแคดเมียมมากกว่าทองแดงและทองแดงมากกว่าตะกั่ว โดยตะกั่วที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 5.0 ppm จะไม่ปรากฏผลต่อการเจริญเติบโตของผักตบชวา แต่ถ้าใช้แคดเมียมและตะกั่วมากกว่า 0.5 ppm และมากกว่า 1.0-2.0 ppm จะมีผลทำให้ผักตบชวาไม่เจริญเติบโตและมีน้ำหนักลดลง

Bagnall, L.O., et. al, (1974) รายงานว่าได้ทดลองปลูกผักตบชวาปกคลุมบ่อเป็นเวลามากกว่า 10 ชั่วโมง พบว่าค่าไนโตรเจน และฟอสฟอรัสลดลง 10% และถ้าเพิ่มระยะเวลาเป็น 5 วัน จะสามารถลดค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ถึง 80% และ 60% ตามลำดับ

Cornwell, D.A., et. al, (1977) ได้ทำการทดลองใช้ผักตบชวาดูดสารอาหารจาก secondary effluents ในมลรัฐแคลิฟอร์เนียพบว่า ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วเหมือนอยู่ในสภาพธรรมชาติ ในบ่อทดลองขนาดความลึก 0.34 เมตร ผักตบชวาสามารถดูดไนโตรเจนรวมได้ประมาณ 80% และฟอสฟอรัสรวม 40% ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง สำหรับบ่อทดลองที่มีขนาดความลึกมากกว่าและใช้เวลาน้อยกว่านั้นจะได้ผลไม่เป็นที่พอใจ ทั้งนี้พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดสาร หรือเคลื่อนย้ายไนโตรเจนนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิว

Diges, W.R. (1976) ได้ทำการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียในรัฐเท็กซัสโดยใช้ผักตบชวาเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้พืชน้ำในการลดสารแขวนลอยน้ำในน้ำพบว่า น้ำขุ่นที่ผ่านไปในพื้นที่ปลูกผักตบชวาจะใสและสะอาดขึ้น แต่กลไกการทำให้น้ำสะอาดนั้นยังมิได้ทราบแน่ชัด

Duffer, W.R. และ Harlin, C.C. (1979) ได้รายงานในการดำเนินการประชุมแลกเปลี่ยนความเห็นเกี่ยวกับเทคโนโลยี และศักยภาพของการใช้พืชน้ำขนาดใหญ่พบว่า การพัฒนาการใช้ผักตบชวาใน

การกำจัดน้ำเสียเป็นความก้าวหน้า โดยเฉพาะในการลดค่าอินทรีย์สารให้ต่ำลงเพื่อใช้ควบคุมสภาวะแวดล้อม

Gupta, G.C. (1980) ได้ทดลองใช้ผักตบชวาในการบำบัดน้ำทิ้งและกล่าวรายงานว่า ผักตบชวาสามารถทำให้น้ำทิ้งสะอาดขึ้น เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้าย Fecal coliform bacteria ตะกอนสารแขวนลอยโลหะหนักมีพิษอินทรีย์สาร และพบว่าการเพาะผักตบชวาใน sewage lagoon system ลด BOD ได้ถึง 95% ลดโลหะหนักและยาฆ่าแมลงศัตรูพืช ซึ่งกล่าวสรุปได้ว่าผักตบชวามีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย อีกทั้งประหยัดค่าใช้จ่ายด้วย

Orth และ Hermann et. al, (1987) ได้ทดลองออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และบ้านเรือนในแถบอุตสาหกรรม พบว่าค่า BOD และ COD ลดลงเป็นที่น่าพอใจ นอกจากนี้ทำให้ค่าไนโตรเจนลดลงโดยคาดว่าน่าจะเกิดขบวนการตรึงไนโตรเจน (nitrification) บริเวณรากผักตบชวา จากการทดลองนี้บ่งถึงความสามารถของพืชในการบำบัดน้ำเสีย

# บทที่ 3
# วิธีการดำเนินการวิจัย

## 3.1 อุปกรณ์

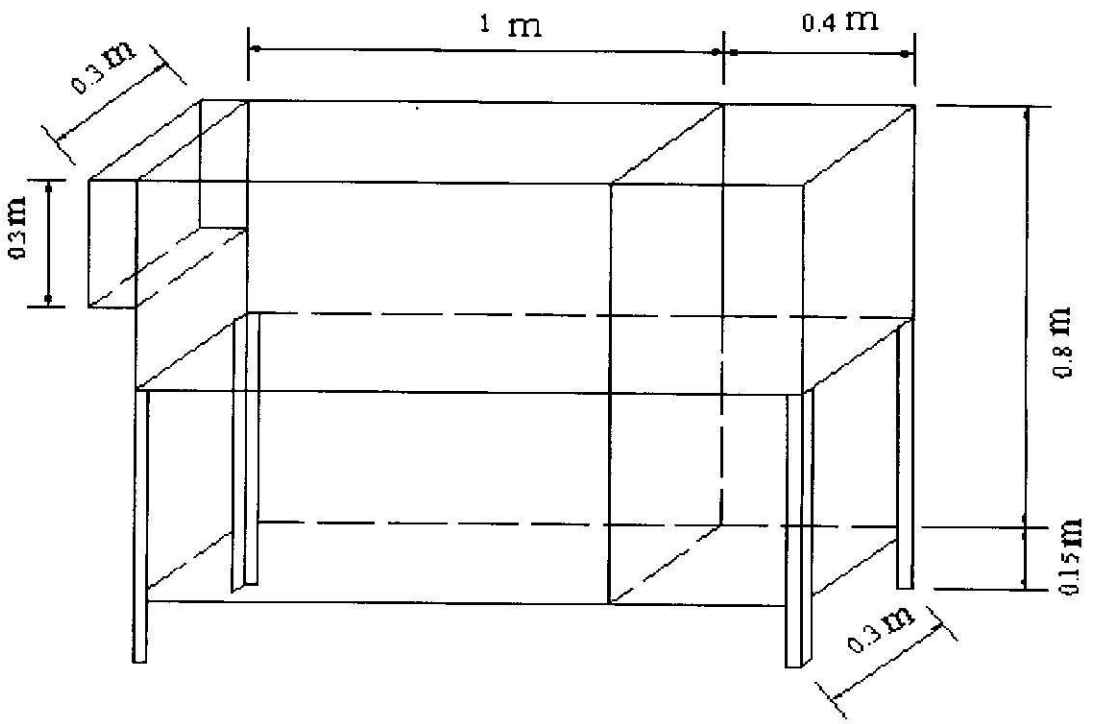
3.1.1 ชุดการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พืชลอยน้ำ

1) ชุดการทดลองจำนวน 4 ชุด ทำจากแผ่นอะคริลิกใสหนา 5 มิลลิเมตร ประกอบเป็นตู้ขนาดเท่ากับ 0.3x1.5x0.8 เมตร ส่วนภายนอกซึ่งเป็นโครงสร้างใช้เหล็กฉากขนาด 40x40x4 มิลลิเมตร น้ำหนัก 14.5 กิโลกรัม/ท่อน (ความยาวท่อนละ 6 เมตร) ประกอบเป็นส่วนโครงสร้างเพื่อรับน้ำหนักของชุดการทดลอง โดยใช้การเชื่อมในการยึดย่อยของชิ้นส่วนต่างๆ ระบบที่สร้างขึ้นเป็นการสร้างเพื่อให้ใกล้เคียงกับธรรมชาติมากที่สุด (ดังแสดงในภาพที่ 7) จากชุดการทดลองประกอบด้วย ชั้นล่างเป็นดินหนา 10 เซนติเมตร ซึ่งดินที่ใช้เป็นดินที่นำมาจากก้นบ่อบำบัดที่ทำการศึกษา ระดับน้ำสูง 50 เซนติเมตร และทำการปลูกพืชน้ำในชุดการทดลองโดย ชุดการทดลองที่ 1 เป็นชุดควบคุม (ไม่ปลูกพืช) ชุดการทดลองที่ 2 ปลูกผักบุ้ง ชุดการทดลองที่ 3 ปลูกผักกระเฉด และชุดการทดลองที่ 4 ปลูกผักตบชวา

2) ชุดจ่ายน้ำเสียเข้าระบบ ประกอบด้วยถังพลาสติกขนาด 40 แกลลอน จำนวน 3 ถัง โดยแบ่งเป็นถังเก็บน้ำ 2 ถังต่ออนุกรมเข้าด้วยกัน และถังจ่ายน้ำ 1 ถัง จ่ายน้ำด้วยอัตราไหล 7.5 และ 60 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ โดยใช้เครื่องสูบน้ำขนาดเล็ก

3) พืชที่ใช้ในโครงงาน
   - ผักบุ้ง
   - ผักกระเฉด
   - ผักตบชวา

4) ถังแกลลอนเก็บน้ำเสียขนาด 15 ลิตร จำนวน 25 ถัง




**ภาพที่ 7** แสดงแบบจำลองของชุดการทดลอง

5) เครื่องชั่งละเอียด (balance)

- ยี่ห้อ SARTORIUS ชั่งได้ละเอียด 4 ตำแหน่ง
- ยี่ห้อ Chyo MJ – 300 ชั่งได้ละเอียด 2 ตำแหน่ง

6) ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ไนโตรเจน

- Digestor ของ VELP SCIENTIFICA รุ่น DK 20
- Distillation Unit VELP SCIENTIFICA รุ่น UDK 126 A

7) เครื่อง pH meter ของ ORION รุ่น Model 230 A

8) ชุดกรอง (filtration apparatus) สำหรับหาค่า SS ของ SARTORIUS

9) ตู้ดูดความชื้น (desicator)

10) Hot plate ของ BIBBY รุ่น HC 1202

11) ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (incubator)

12) ตู้อบ (hot dry oven) ของ MEMMERT

13) Spectrophotometer ของ LaMotte รุ่น SMART

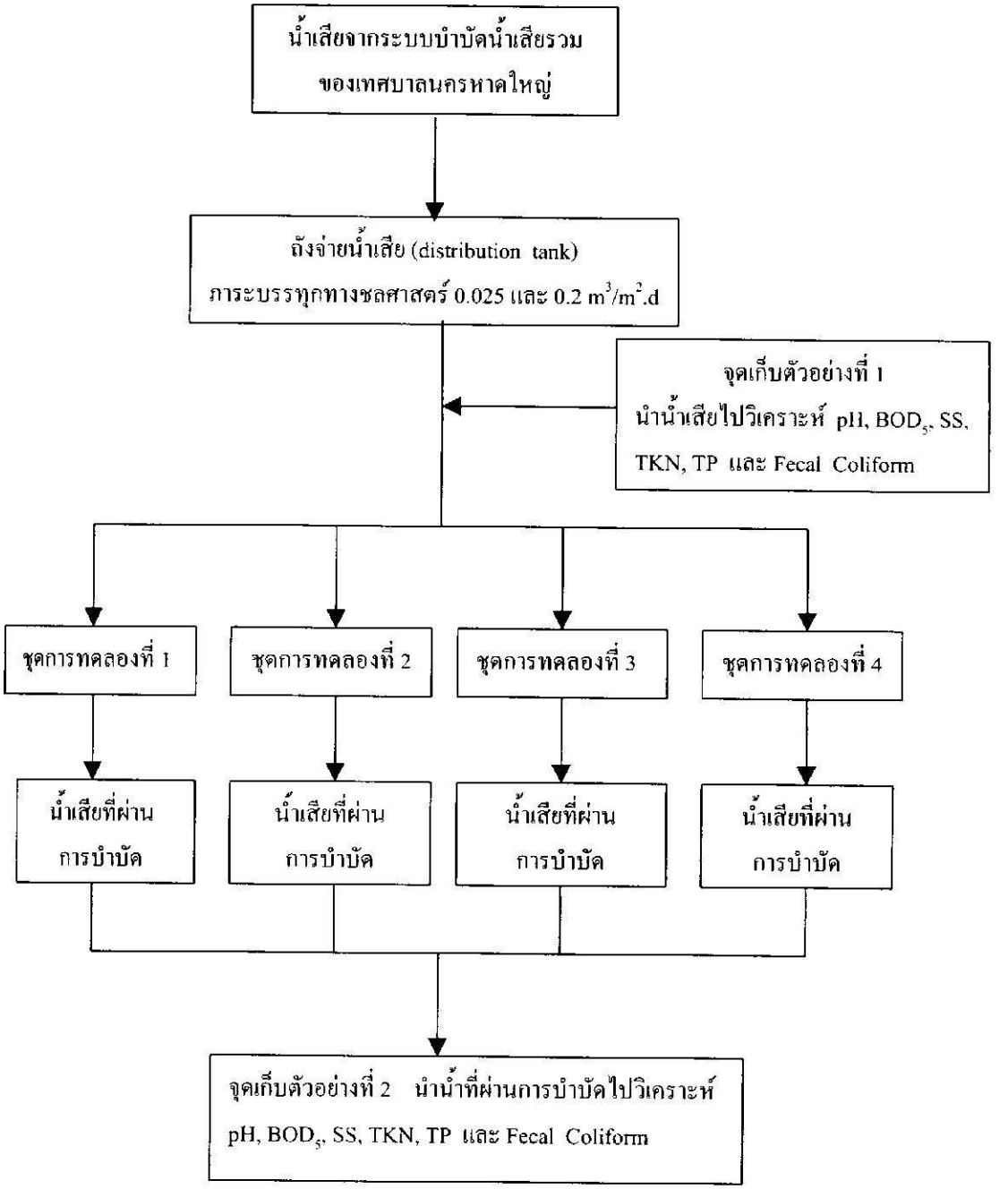
14) สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ $BOD_5$, SS, TKN, TP และ Fecal Coliform

15) เครื่องแก้ว และชุดไทเทรต

**3.2 วิธีการทดลอง**

การทดลองในงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 การทดลองคือ การทดลองที่ 1 ใช้แบบจำลองทั้ง 4 ชุดที่มีพืชน้ำต่างชนิดกัน โดยให้มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากันคือ 0.025 $m^3/m^2.d$ (อัตราการไหล 7.5 ลิตร/วัน) หลังจากสร้างแบบจำลองเรียบร้อยแล้ว ทำการปลูกพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด จึงเริ่มดำเนินการทดลอง โดยในช่วงสัปดาห์แรกได้ปล่อยน้ำประปาเข้าสู่ระบบแทนน้ำเสียก่อน เพื่อให้พืชน้ำได้ปรับสภาพ หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 2 จึงเริ่มปล่อยน้ำเสียเข้าระบบ ซึ่งน้ำเสียที่เข้าระบบจะเป็นน้ำเสียที่เก็บบริเวณก่อนเข้าบ่อบึงประดิษฐ์ที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่ โดยเริ่มจากน้อยๆ และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณที่คำนวณไว้ เพื่อให้พืชน้ำสามารถปรับตัวได้ หลังจากนั้นจึงควบคุมปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบให้สม่ำเสมอ และทำการเก็บน้ำตัวอย่างทุก 5 วันจนครบ 40 วัน และนำน้ำเสียที่ผ่านระบบมาทำการตรวจสอบตัวแปรคุณภาพน้ำดังแสดงในตารางที่ 6 และการทดลองที่ 2 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ทั้ง 4 ชุดให้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.2 $m^3/m^2.d$ (อัตราการไหล 60 ลิตร/วัน) และทำการเก็บน้ำตัวอย่างทุก 5 วัน จนครบ 45 วัน และนำน้ำเสียที่ผ่านระบบมาทำการตรวจสอบตัวแปรคุณภาพน้ำดังแสดงในตารางที่ 6

อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (hydraulic loading) เท่ากับ 0.2 และ 0.025 ลูกบาศก์เมตร/ตารางเมตร.วัน หรือคิดเป็นปริมาณน้ำเสียประมาณ 60 และ 7.5 ลิตร/วัน โดยคิดเป็นระยะเวลาเก็บกัก 2.4 และ 20 วัน ซึ่งระยะเวลาเก็บกัก 2.4 วัน เป็นการประเมินจากที่ได้ออกแบบไว้เพื่อรองรับปริมาณน้ำเสียสูงสุดของระบบบำบัดน้ำเสียรวมเทศบาลนครหาดใหญ่




**ภาพที่ 8** แผนภูมิแสดงวิธีการและขั้นตอนการทดลอง

หมายเหตุ

ชุดการทดลองที่ 1 คือ ถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดการทดลองที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดการทดลองที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดการทดลองที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางที่ 6** แสดงความถี่ในการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรต่างๆ

| ตัวแปร | ความถี่ |
|---|---|
| $BOD_5$ | ทุก 5 วัน |
| pH | ทุก 5 วัน |
| SS | ทุก 5 วัน |
| TKN | ทุก 5 วัน |
| TP | ทุก 5 วัน |
| Fecal Coliform | ทุก 5 วัน |

**ตารางที่ 7** สรุปตัวแปรที่ทำการตรวจสอบในงานวิจัย

| ตัวแปร | การวิเคราะห์ตัวอย่าง | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | น้ำเสียเข้าระบบ | น้ำทิ้งจากชุดการทดลองที่ 1 | น้ำทิ้งจากชุดการทดลองที่ 2 | น้ำทิ้งจากชุดการทดลองที่ 3 | น้ำทิ้งจากชุดการทดลองที่ 4 |
| pH | X | X | X | X | X |
| SS | X | X | X | X | X |
| $BOD_5$ | X | X | X | X | X |
| TP | X | X | X | X | X |
| TKN | X | X | X | X | X |
| Fecal Coliform | X | X | X | X | X |

หมายเหตุ

ชุดการทดลองที่ 1 คือ ถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดการทดลองที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดการทดลองที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดการทดลองที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางที่ 8** แสดงวิธีการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรต่างๆ ของน้ำเสีย

| ตัวแปร | วิธีการวิเคราะห์ |
|---|---|
| pH | pH Meter |
| Suspended Solids (SS) | Total Suspended Solids Dried at 103-105 $^{\circ}$C (APHA 2540 D) |
| $BOD_5$ | 5 – Day BOD Test (APHA 5210 B) |
| Total Phosphorous (TP) | Stannous Chloride Method (APHA 4500-P D) |
| Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) | Macro-Kjeldahl Method (APHA 4500-Norg B) |
| Fecal Coliform Bacteria | MPN Index Method |

ที่มา : Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 19$^{th}$ Edition (APHA, AWWA & WEF, 1995)

**ภาพที่ 9** แสดงวิธีการเก็บน้ำ

**ภาพที่ 10** แสดงถังเก็บกักน้ำและถังจ่ายน้ำเข้าระบบ

**ภาพที่ 11** แสดงลักษณะของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

ภาพที่ 12 แสดงการทำงานของระบบ

ภาพที่ 13 แสดงจุดเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดเพื่อไปวิเคราะห์ตัวแปรคุณภาพน้ำต่างๆ

# บทที่ 4
# ผลการศึกษาและวิจารณ์

ในการศึกษาโครงงานครั้งนี้ได้ทำการศึกษาโดยใช้น้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเทศบาลนครหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเทศบาลนครหาดใหญ่เป็นระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (pond) ประกอบด้วย บ่อบำบัดขั้นต้น (primary pond) จำนวน 2 บ่อ บ่อบำบัดแบบกึ่งไร้อากาศ (facultative pond) จำนวน 2 บ่อ บ่อบ่ม (maturation pond) จำนวน 2 บ่อ บ่อบึงประดิษฐ์ (constructed wetland) จำนวน 5 บ่อ และบ่อกักเก็บน้ำเสียสุดท้ายก่อนปล่อยลงสู่คลองขุด ทำการทดลองที่ระยะเวลาเก็บกัก 20 และ 2.4 วัน ตามลำดับ ซึ่งได้นำเสนอผลการศึกษาน้ำเสียที่เข้าสู่บ่อบึงประดิษฐ์ที่ 2 ผลการศึกษาและวิจารณ์การทดลอง และผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำของพืชทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ผักบุ้ง, ผักกระเฉด และผักตบชวา ที่ทำการทดลองร่วมกับระบบบ่อ มีระยะเวลาเก็บกักเท่ากันดังนี้

## 4.1 ผลการทดลองที่ 1 : ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ (ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน)

### 4.1.1 ผลการศึกษาน้ำเสียเข้าสู่บ่อบึงประดิษฐ์ที่ 2 จากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

จากการศึกษาน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียในงานวิจัยพบว่า ค่า pH อยู่ในช่วง 6.1-6.7 เฉลี่ย 6.4 ค่า $BOD_5$ อยู่ในช่วง 12-47.1 mg/L เฉลี่ย 29 mg/L ค่า SS อยู่ในช่วง 50-405 mg/L เฉลี่ย 206.3 mg/L ค่า TKN อยู่ในช่วง 3.7-4.4 mg/L เฉลี่ย 4.0 mg/L ค่า TP อยู่ในช่วง 0.59-2.21 mg/L เฉลี่ย 1.11 mg/L และค่า Fecal coliform อยู่ในช่วง 23-240 MPN/100 mL เฉลี่ย 101.9 MPN/100 mL ผลการศึกษาและค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ แสดงดังตารางที่ 9

### 4.1.2 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำเข้าและน้ำผ่านการบำบัดที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งทำการทดลองโดยใช้ระบบบ่อร่วมกับพืชลอยน้ำ ทำการทดลอง 4 ชุดการทดลองโดยชุดการทดลองที่ 1 คือ ชุดควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช) ชุดการทดลองที่ 2 คือ ชุดบำบัดโดยผักบุ้ง ชุดการทดลองที่ 3 คือ ชุดบำบัดโดยผักกระเฉด และชุดการทดลองที่ 4 คือ ชุดบำบัดโดยผักตบชวา โดยเลือกใช้ค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่เหมาะสมกับระบบบ่อคือ 0.025 $m^3/m^2.d$ ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด 7.5 ลิตร/วัน และ

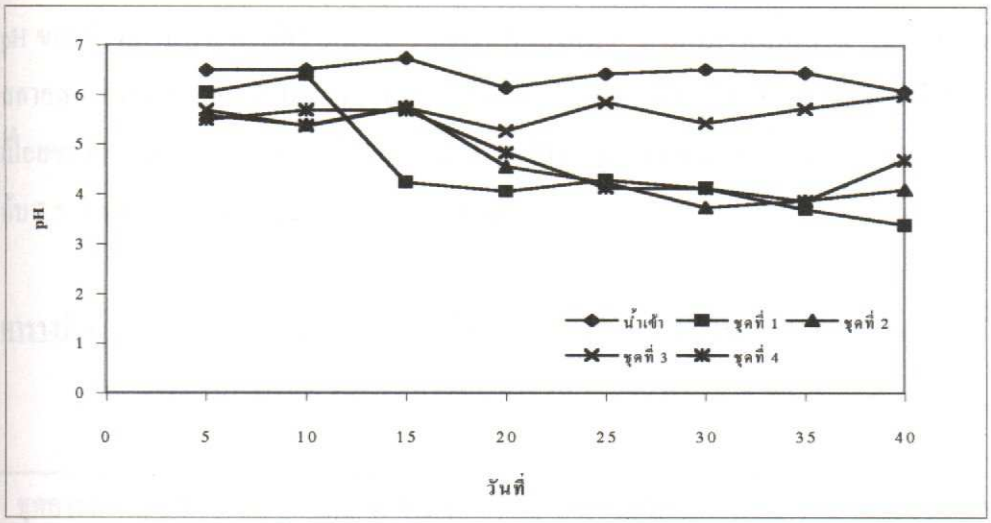
ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทุก 5 วันเป็นระยะเวลารวมทั้งสิ้น 40 วัน โดยนำเสนอผลการทดลองและวิจารณ์ ซึ่งแบ่งเป็นตัวแปรต่างๆ

**ตารางที่ 9** แสดงผลการวิเคราะห์น้ำเสียเข้าสู่บ่อบึงประดิษฐ์ที่ 2 จากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

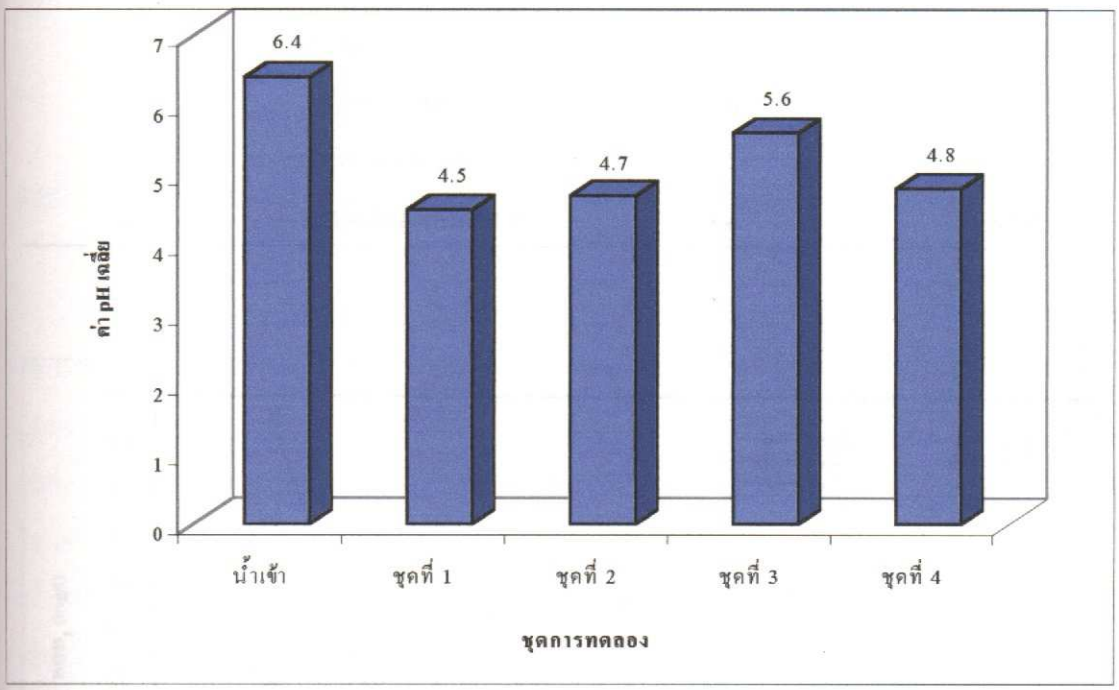
| ตัวแปร | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|
| 1. pH | 6.4 |
| 2. $BOD_5$ (mg/L) | 29.0 |
| 3. SS (mg/L) | 206.3 |
| 4. TKN (mg/L) | 4.0 |
| 5. TP (mg/L) | 1.11 |
| 6. Fecal Coliform (MPN/100 mL) | 101.9 |

**ตารางที่ 10** แสดงค่า pH เฉลี่ยของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

| ชุดการทดลองที่ | การทดลอง | pH เฉลี่ย |
|---|---|---|
| น้ำเข้าระบบ | - | 6.4 |
| 1 | ถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช) | 4.5 |
| 2 | บำบัดโดยผักบุ้ง | 4.7 |
| 3 | บำบัดโดยผักกระเฉด | 5.6 |
| 4 | บำบัดโดยผักตบชวา | 4.8 |




**ภาพที่ 14** แสดงค่า pH ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$



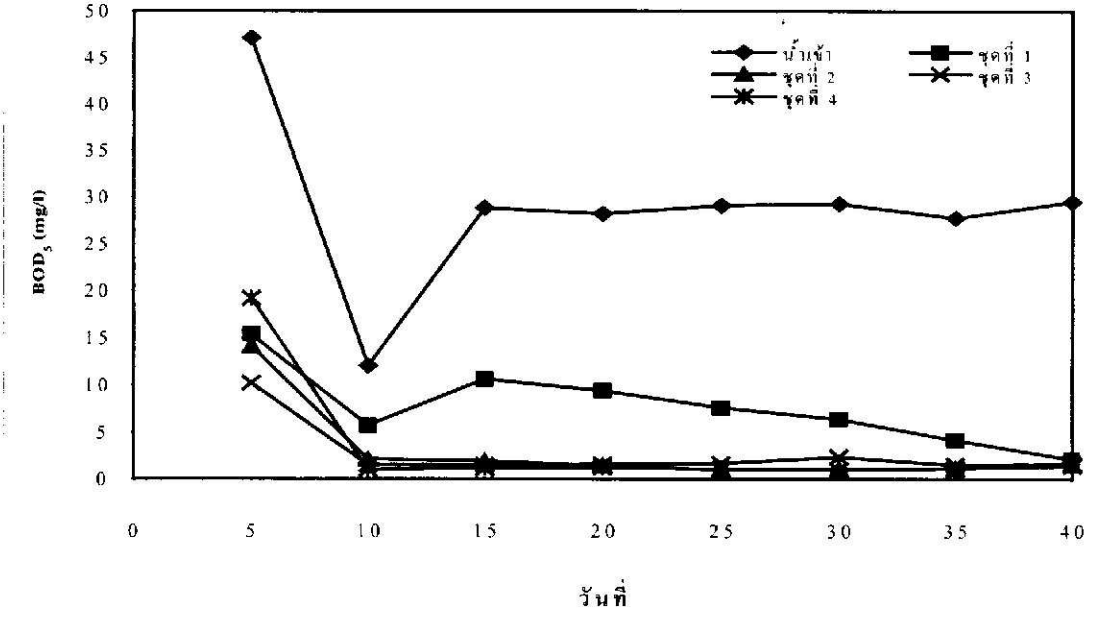

**ภาพที่ 15** แสดงค่า pH เฉลี่ยของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

จากตารางที่ 10 และภาพที่ 14 และ 15 พบว่าค่า pH ของน้ำเข้า, ชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 อยู่ในช่วง 6.1-6.7, 3.4-6.4, 3.7-5.8, 5.3-6.0 และ 3.9-5.7 มีค่าเฉลี่ย 6.4, 4.5, 4.7, 5.6 และ 4.8 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าค่า pH ของน้ำเสียเข้าระบบส่วนใหญ่มีค่าเป็นกลางค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อยเนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ เมื่อรวมตัวกับน้ำจะได้กรดคาร์บอนิก ส่วนน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่า pH ต่ำกว่าน้ำเสียเข้าระบบ ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน กำหนดค่า pH 5-9 เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ย

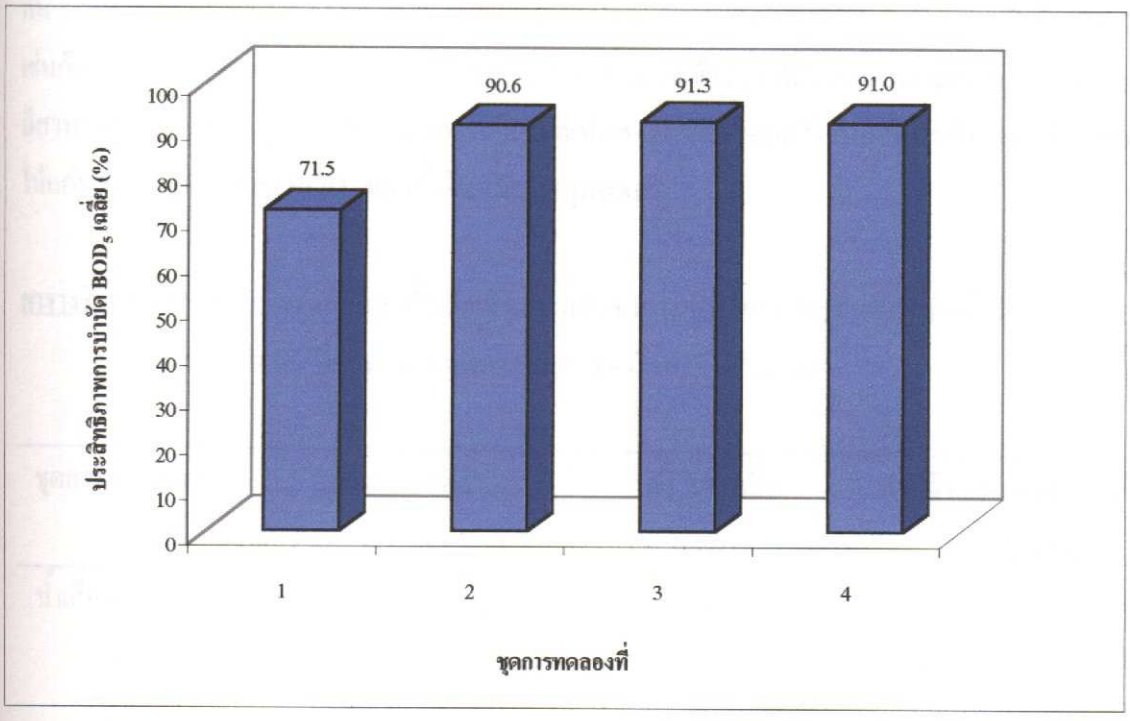
pH ของน้ำที่ผ่านการบำบัดจากทั้ง 4 ชุดการทดลองแล้ว น้ำมีสภาพเป็นกรด เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ เมื่อรวมตัวกับน้ำจะได้กรดคาร์บอนิก การเน่าเปื่อยของซากพืชเกิดกรดอินทรีย์และดินที่นำมาใส่ในชุดการทดลองซึ่งเป็นดินจากขอบบ่อมีค่า pH เท่ากับ 3.5 จึงส่งผลให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีสภาพเป็นกรด

**ตารางที่ 11** แสดงค่า $BOD_5$ เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด $BOD_5$ ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

| ชุดการทดลองที่ | การทดลอง | ค่า $BOD_5$ เฉลี่ย (mg/L) | ประสิทธิภาพการบำบัด $BOD_5$ เฉลี่ย (%) |
|---|---|---|---|
| น้ำเสียเข้าระบบ | - | 29.0 | - |
| 1 | บำบัดโดยถังควบคุม | 7.7 | 71.5 |
| 2 | บำบัดโดยผักบุ้ง | 3.0 | 90.6 |
| 3 | บำบัดโดยผักกระเฉด | 2.7 | 91.3 |
| 4 | บำบัดโดยผักตบชวา | 3.4 | 91.0 |




**ภาพที่ 16** แสดงค่า $BOD_5$ ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$




<u>ภาพที่ 17</u> แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด $BOD_5$ ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

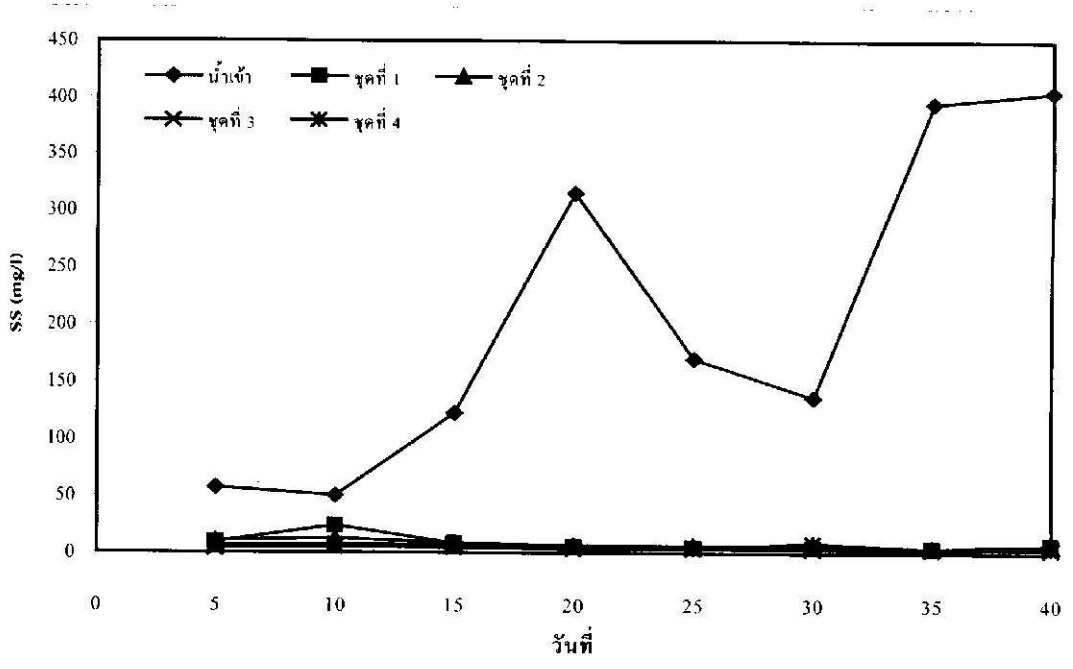
จากตารางที่ 11 ภาพที่ 16 และ 17 พบว่าค่า $BOD_5$ ของน้ำเสียเข้าระบบ, ชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 12-47.1, 2.1-15.3, 1.0-14.1, 1.5-10.2 และ 1.0-19.2 mg/L และมีค่าเฉลี่ย 29.0, 7.7, 3.0, 2.7 และ 3.4 mg/L ตามลำดับ พบว่าค่า $BOD_5$ เฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดการทดลองทั้ง 4 ชุด ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนที่กำหนดไว้คือไม่เกิน 20 mg/L แต่น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งบำบัดโดยผักกระเฉดมีค่า $BOD_5$ ที่ออกจากระบบต่ำสุด เนื่องจากผักกระเฉดเป็นพืชที่มีลำต้นและรากอยู่ในน้ำ ลักษณะของรากจะแตกแขนงออกจากข้อใบประกอบแบบขนนกสองชั้น ซึ่งเป็นที่อยู่ให้จุลินทรีย์อาศัยสำหรับย่อยสลายสารอินทรีย์ อีกทั้งยังสามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้ด้วย (Stowell et.al.,1981) ส่วนน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยผักบุ้งและผักตบชวาลด $BOD_5$ ได้น้อยกว่าผักกระเฉดเนื่องจากเป็นพืชที่มีลำต้นและใบอยู่เหนือผิวน้ำ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัด $BOD_5$ ของชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 พบว่า มีค่าประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 52.5-92.9%, 70.1-96.6%, 78.3-95.0% และ 59.2-97.4 % และมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 71.5%, 90.6%, 91.3% และ 91.0% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัด $BOD_5$ โดยพืชทั้ง 3 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าพืชทั้ง 3 ชนิดได้แก่ ผักบุ้ง, ผักกระเฉด และผักตบชวา มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้เช่นเดียว

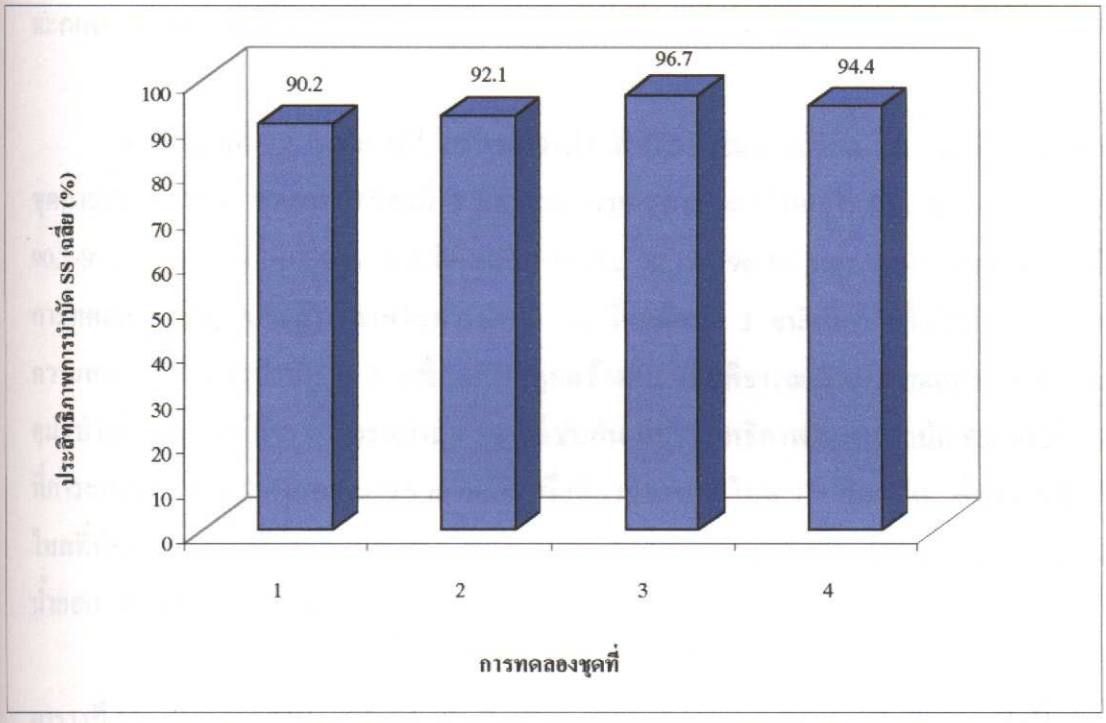
กัน เมื่อพิจารณาชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช) สามารถบำบัด $BOD_5$ ได้เช่นกัน มีประสิทธิภาพในการบำบัด $BOD_5$ 71.5% ซึ่งค่อนข้างสูง เนื่องจากบริเวณผิวน้ำของชุดควบคุมมีสาหร่ายจำนวนมาก เมื่อสาหร่ายมีการสังเคราะห์แสงจะปล่อยออกซิเจนออกมาเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้แก่น้ำ จึงส่งผลให้ค่า $BOD_5$ ของน้ำในชุดควบคุมลดลง

**ตารางที่ 12** แสดงค่า SS เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด SS ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

| ชุดการทดลองที่ | การทดลอง | ค่า SS เฉลี่ย (mg/L) | ประสิทธิภาพการบำบัด SS เฉลี่ย (%) |
|---|---|---|---|
| น้ำเสียเข้าระบบ | - | 206.3 | - |
| 1 | บำบัดโดยถังควบคุม | 8.5 | 90.2 |
| 2 | บำบัดโดยผักบุ้ง | 7.7 | 92.1 |
| 3 | บำบัดโดยผักกระเฉด | 3.7 | 96.7 |
| 4 | บำบัดโดยผักตบชวา | 6.1 | 94.4 |




**ภาพที่ 18** แสดงค่า SS ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$




**ภาพที่ 19** แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด SS ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

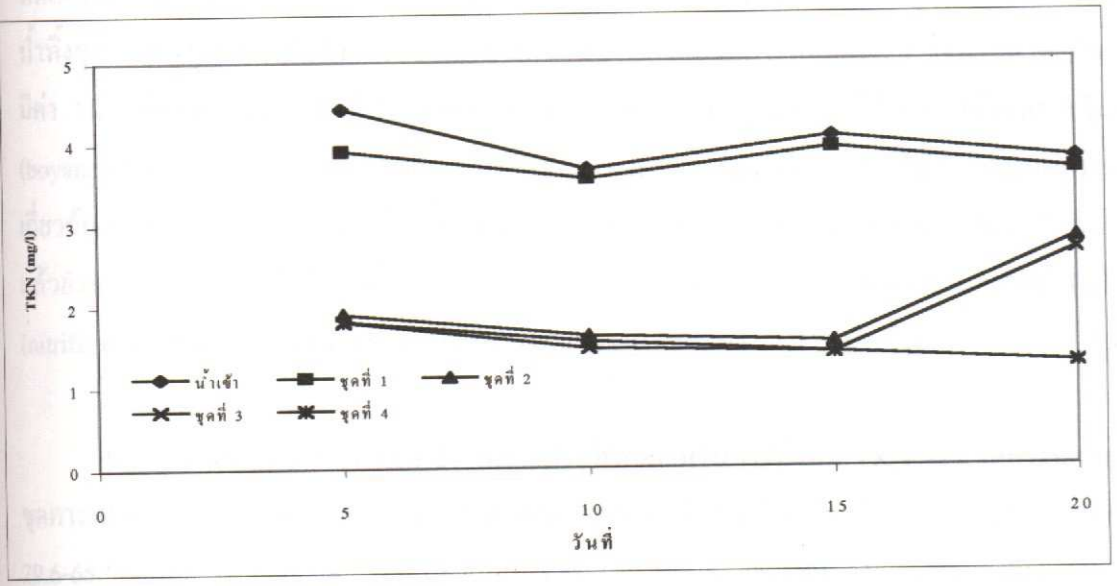
จากตารางที่ 12 และภาพที่ 18 พบว่า ค่า SS ของน้ำเสียเข้าระบบ, ชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 มีค่า SS อยู่ในช่วง 50-405, 4.2-23.8, 4.1-10.5, 3.1-5.0 และ 4.1-8.6 mg/L และมีค่าเฉลี่ย 206.3, 8.5, 7.7, 3.7 และ 6.1 mg/L ตามลำดับ จากการทดลองจะเห็นว่าค่า SS เฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดการทดลองทั้ง 4 ชุด ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ที่กำหนดไว้คือไม่เกิน 30 mg/L แต่น้ำที่บำบัดโดยชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งบำบัดโดยผักกระเฉดมีค่า SS ต่ำสุด เนื่องจากผักกระเฉดเป็นพืชที่มีนวมสีขาวคล้ายฟองน้ำ หุ้มติดอยู่เพื่อทำหน้าที่พยุงให้ผักกระเฉด ลอยน้ำ และมีลำต้นสัมผัสกับน้ำ และรากสัมผัสกับ ลักษณะของรากจะสั้น และเป็นฝอยซึ่งเป็นตัวกลางในการกรอง (filtration) และดูดซับ (adsorption) ตะกอน และของแข็งที่ลอยอยู่ในน้ำ อีกทั้งส่วนของรากและลำต้นยังทำให้แสงแดดไม่สามารถส่องผ่านลงไปในน้ำเป็นผลให้สาหร่ายไม่สามารถดำรงชีพได้ ดังนั้นจึงช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่อยู่ในน้ำ เพราะสาหร่ายเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำมีค่า SS สูง ส่วนของก้าน, ลำต้น และใบที่อยู่เหนือน้ำ จะลดผลกระทบ (effect) ของลมที่มีต่อน้ำ เช่น การพัดและทำให้ตะกอนที่จมอยู่ขุ่นขึ้นมา (Stowell et.al.,1981) ส่วนน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยผักบุ้งและผักตบชวาลด SS ได้น้อยกว่า เนื่องจากส่วนของรากและลำต้นที่สัมผัสกับผิวน้ำ

มีลักษณะกระจายออกจากกันมากกว่าผักกระเฉด ทำให้กรอง (filtration) และดูดซับ (adsorption) ตะกอน และของแข็งที่ลอยอยู่ในน้ำได้น้อยลง

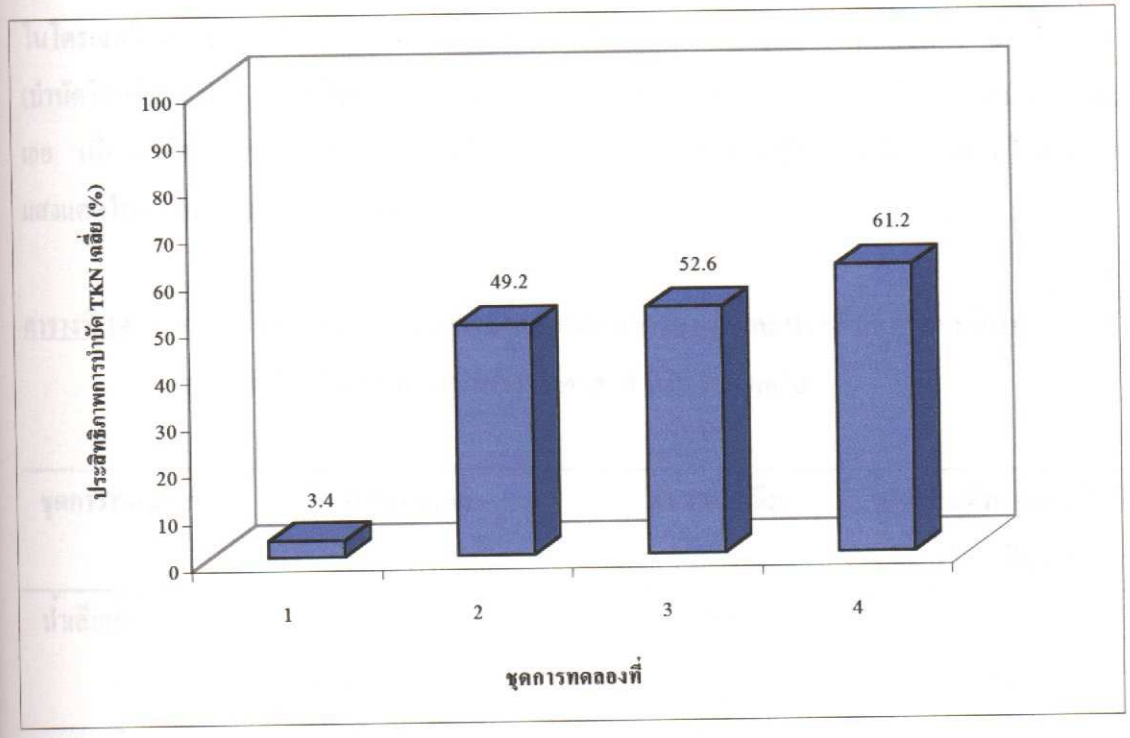
จากตารางที่ 12 และภาพที่ 19 พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด SS ของชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 52.4-98.9%, 75-99.0%, 90.1-99.2% และ 59.2-97.4 % และมีค่าเฉลี่ย 90.2%, 92.1%, 96.7% และ 94.4% ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัด SS โดยพืชทั้ง 3 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ผักกระเฉดมีความสามารถในการบำบัด SS มากที่สุดดังเหตุผลข้างต้น เมื่อพิจารณาชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช) สามารถบำบัด SS ได้เช่นกัน มีประสิทธิภาพในการบำบัด SS 90.2% เนื่องจากที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ ซึ่งมีค่าอัตราการไหล 7.5 ลิตร/วัน ซึ่งถือว่าเป็นอัตราการไหลที่น้อยมาก ทำให้น้ำมีลักษณะนิ่ง ตะกอนส่วนใหญ่จะตกลงสู่ก้นถังควบคุมก่อนที่จะไหลมาถึงทางน้ำออก ส่งผลให้ถังควบคุมสามารถบำบัด SS ได้เช่นกัน

**ตารางที่ 13** แสดงค่า TKN เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TKN ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

| ชุดการทดลองที่ | การทดลอง | ค่า TKN เฉลี่ย (mg/L) | ประสิทธิภาพการบำบัด TKN เฉลี่ย (%) |
|---|---|---|---|
| น้ำเสียเข้าระบบ | - | 4.0 | - |
| 1 | บำบัดโดยถังควบคุม | 3.8 | 3.4 |
| 2 | บำบัดโดยผักบุ้ง | 2.0 | 49.2 |
| 3 | บำบัดโดยผักกระเฉด | 1.8 | 52.6 |
| 4 | บำบัดโดยผักตบชวา | 1.5 | 61.2 |




**ภาพที่ 20** แสดงค่า TKN ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$




**ภาพที่ 21** แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TKN ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

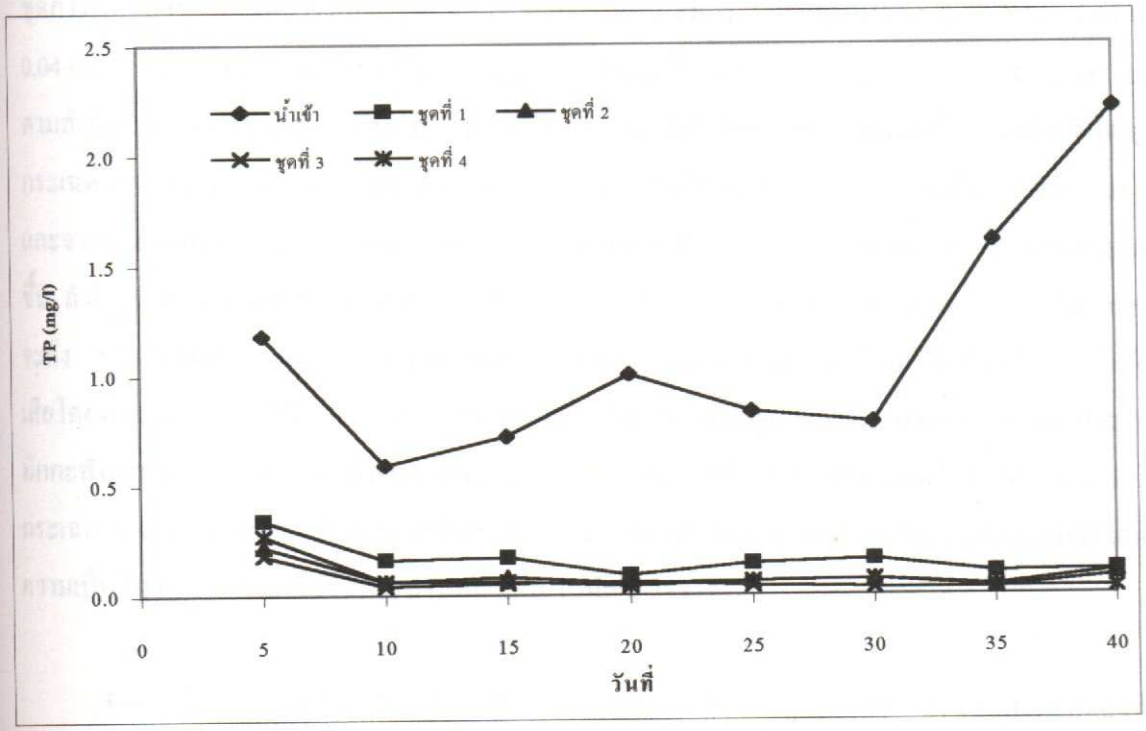
จากตารางที่ 13 และภาพที่ 20 พบว่าค่า TKN ของน้ำเสียเข้าระบบ, ชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 3.7-4.4, 3.6-3.9, 1.5-2.8, 1.4-2.7 และ 1.3-1.8 mg/L และมีค่าเฉลี่ย 4.0, 3.8, 2.0, 1.8 และ 1.5 mg/L ตามลำดับ จากผลการ

ทดลองจะเห็นว่าค่า TKN เฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดการทดลองทั้ง 4 ชุด ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนที่กำหนดไว้คือไม่เกิน 35 mg/L แต่น้ำที่บำบัดโดยชุดการทดลองที่ 4 ซึ่งบำบัดโดยผักตบชวามีค่า TKN ต่ำสุด เนื่องจากผักตบชวาเป็นพืชที่มีรากห้อยลอยอยู่ในน้ำ มีส่วนของก้านพองเป็นตัวทุ่น (boyancy leaf) รากเป็นระบบรากฝอย ปลายรากมีหมวกราก (root cap) เห็นได้ชัด ซึ่งจากผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียโดยพืชน้ำ พบว่าผักตบชวาสามารถลดค่า $BOD_5$ และ COD เป็นที่น่าพอใจแล้วยังสามารถทำให้ค่าไนโตรเจนลดลงได้ดีอีกด้วย โดยคาดว่าน่าจะเกิดขบวนการตรึงไนโตรเจน (nitrification) บริเวณรากผักตบชวา บ่งถึงความสามารถของพืชในการบำบัดน้ำเสีย

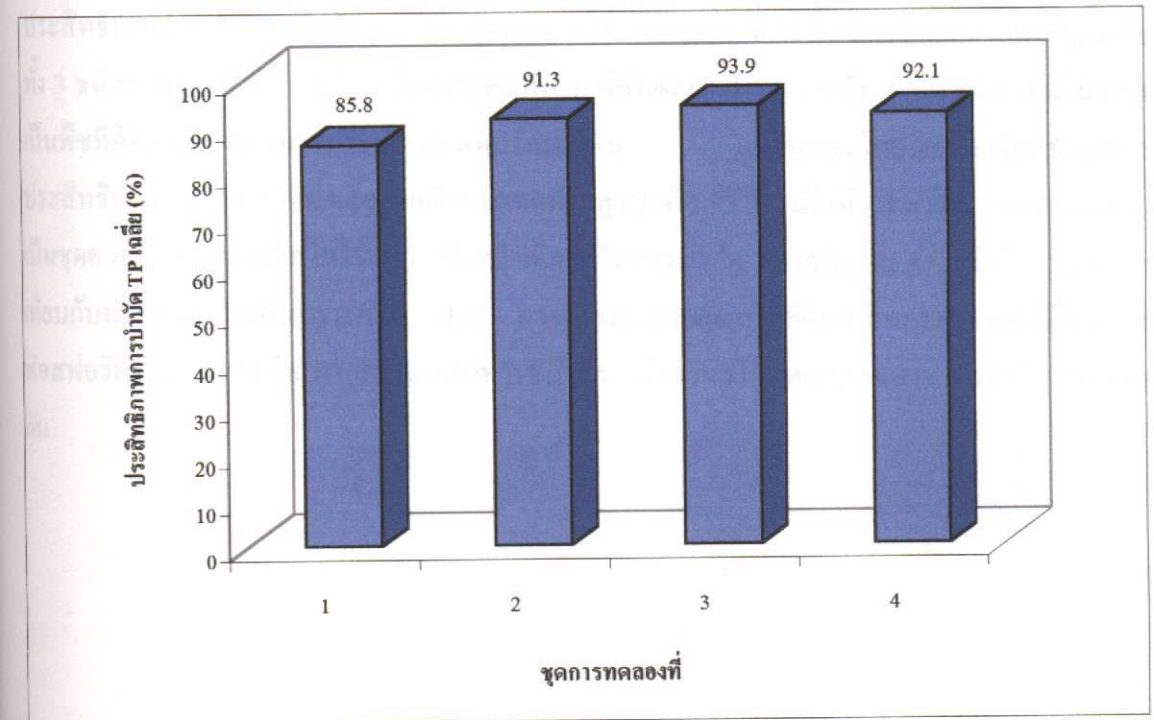
จากตารางที่ 13 และ ภาพที่ 21 พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ของชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 3.0-3.7%, 25.9-62.1%, 29.6-65.5% และ 54.9-66.7% และมีค่าเฉลี่ย 3.4%, 49.2%, 52.6% และ 61.2% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ของชุดการทดลองที่บำบัดโดยพืชน้ำ สามารถบำบัด TKN ได้ เนื่องจากพืชที่นำมาใช้ทดลอง ได้แก่ ผักบุ้ง, ผักกระเฉด และผักตบชวาเป็นพืชที่ต้องการธาตุไนโตรเจนไปเลี้ยงใบ จึงสามารถบำบัด TKN ได้ เมื่อพิจารณาชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช) ประสิทธิภาพในการบำบัด TKN น้อยมากจนแทบจะไม่สามารถบำบัด TKN ได้เลย เนื่องจากชุดควบคุมมีสาหร่ายซึ่งใช้ไนโตรเจนในการดำรงชีพเป็นส่วนน้อย ส่วนใหญ่จะต้องการแสงแดดในการสังเคราะห์แสงมากกว่า

**ตารางที่ 14** แสดงค่า TP เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TP ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

| ชุดการทดลองที่ | การทดลอง | ค่า TP เฉลี่ย (mg/L) | ประสิทธิภาพการบำบัด TP เฉลี่ย (%) |
|---|---|---|---|
| น้ำเสียเข้าระบบ | - | 1.11 | - |
| 1 | บำบัดโดยถังควบคุม | 0.16 | 85.8 |
| 2 | บำบัดโดยผักบุ้ง | 0.09 | 91.3 |
| 3 | บำบัดโดยผักกระเฉด | 0.06 | 93.9 |
| 4 | บำบัดโดยผักตบชวา | 0.08 | 92.1 |




**ภาพที่ 22** แสดงค่า TP ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$



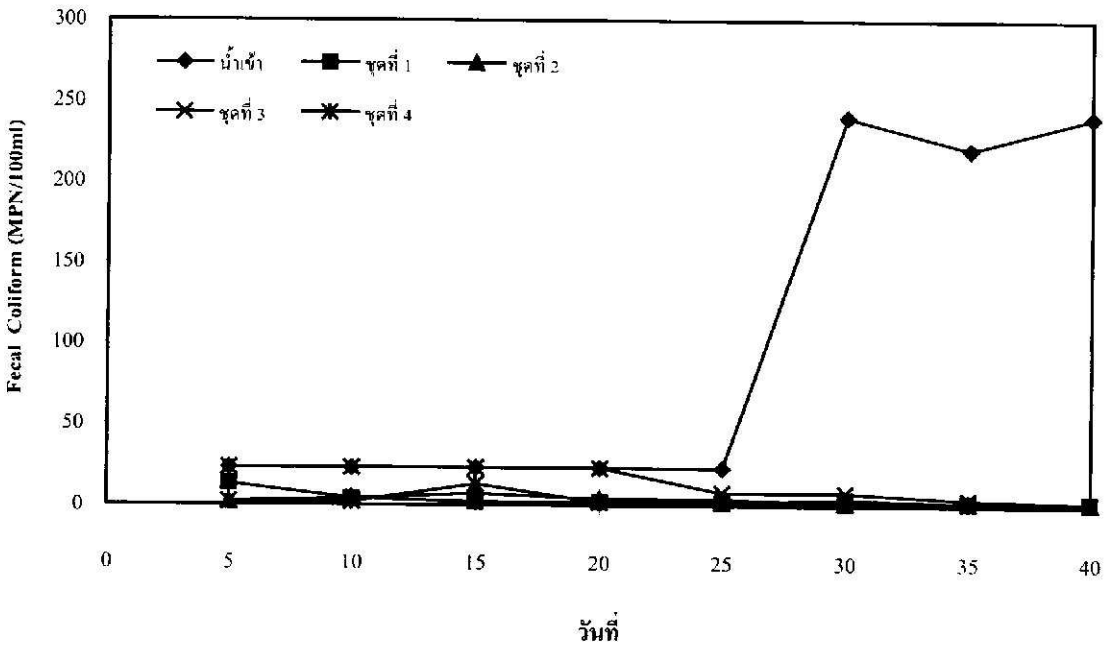

**ภาพที่ 23** แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TP ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

จากตารางที่ 14 และภาพที่ 22 พบว่าค่า TP ของน้ำเสียเข้าระบบ, ชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 0.59-2.21, 0.09-0.34, 0.04-0.22, 0.03-0.18 และ 0.03-0.27 mg/L และมีค่าเฉลี่ย 1.11, 0.16, 0.09, 0.06 และ 0.08 mg/L ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งบำบัดโดย ผักกระเฉด มีค่า TP ต่ำสุด ซึ่งธาตุฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่ช่วยบำรุงส่วนก้าน, ลำต้น และดอก ของพืช และจากคุณลักษณะของผักกระเฉด มีการเจริญเติบโตแบบเลื้อยทอดไปตามผิวน้ำ ปลายยอดชูกระดกตั้งขึ้น ลำต้นแตกแขนงตามข้อ ดอกออกช่อเป็นแบบ head ออกเดี่ยวอยู่ตามซอกใบ จึงเหมาะที่ผักกระเฉดจะดึง ธาตุฟอสฟอรัสในน้ำไปใช้สำหรับเลี้ยงส่วนต่างๆ และจากผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียโดยพืชน้ำ ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำกับสารอาหารในบึงมักกะสันพบว่า ความสามารถในการดูดซับธาตุฟอสฟอรัสคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในน้ำหนักแห้งของผักกระเฉด 0.442 ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ผักกระเฉดมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารได้ดี มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย (วนิดา, 2532)

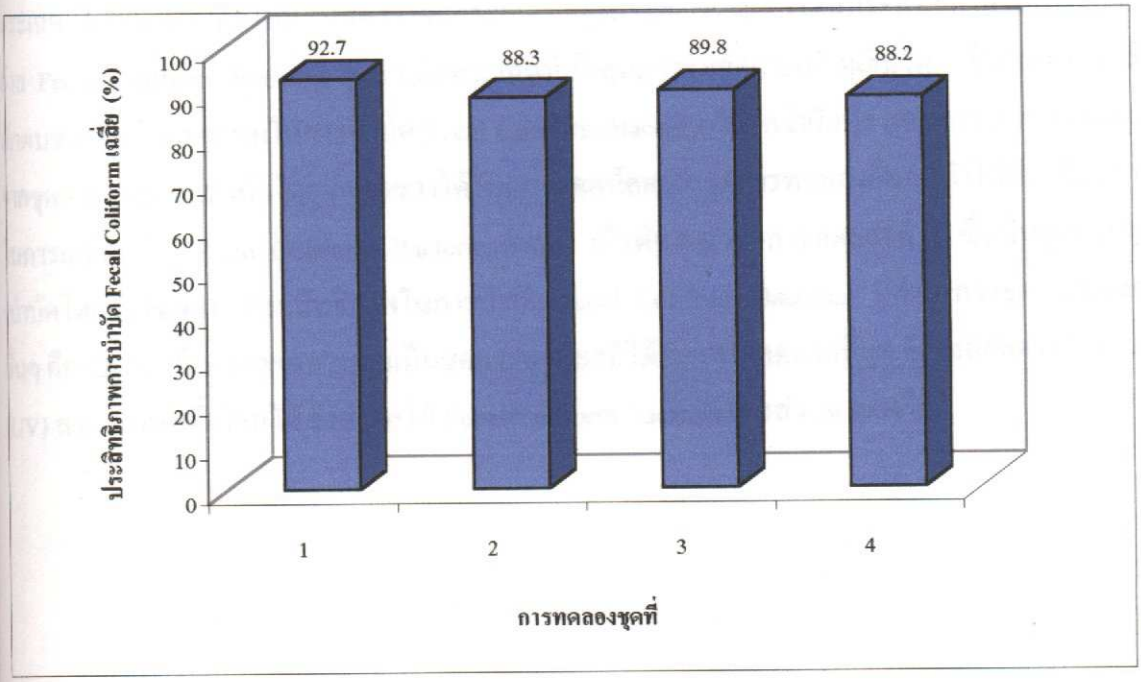
จากตารางที่ 14 และภาพที่ 23 พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด TP ของชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 71-94.8%, 81.1-97.6%, 84.5-98.2% และ 77.4-98.5% และมีค่าเฉลี่ย 85.8%, 91.3%, 93.9% และ 92.1% ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TP ของชุดการทดลองที่บำบัดโดยพืชน้ำ มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดสามารถบำบัด TP ได้ เนื่องจากพืชที่นำมาใช้ทดลอง ได้แก่ ผักบุ้ง, ผักกระเฉด และผักตบชวา เป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารประเภทฟอสฟอรัสเช่นกัน แต่จากคุณลักษณะของผักกระเฉดทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยผักกระเฉดมีค่าสูงสุดคือ 93.9% เมื่อพิจารณาชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช) ประสิทธิภาพในการบำบัด TP เฉลี่ย 85.8% ซึ่งถือว่าสูงมากเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพในการบำบัด TKN อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติเฉพาะของสาหร่ายที่ต้องการธาตุฟอสฟอรัสในการดำรงชีพ มากกว่าธาตุอาหารชนิดอื่น จึงส่งผลให้ชุดควบคุมสามารถบำบัด TP ได้เช่นกัน

**ตารางที่ 15** แสดงค่า Fecal Coliform เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด Fecal Coliform ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

| ชุดการทดลองที่ | การทดลอง | ค่า Fecal Coliform เฉลี่ย (MPN/100 mL) | ประสิทธิภาพการบำบัด Fecal Coliform เฉลี่ย (%) |
|---|---|---|---|
| น้ำเสียเข้าระบบ | - | 102 | - |
| 1 | บำบัดโดยถังควบคุม | 4 | 92.7 |
| 2 | บำบัดโดยผักบุ้ง | 3 | 88.3 |
| 3 | บำบัดโดยผักกระเฉด | 14 | 89.8 |
| 4 | บำบัดโดยผักตบชวา | 4 | 88.2 |




**ภาพที่ 24** แสดงค่า Fecal Coliform ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

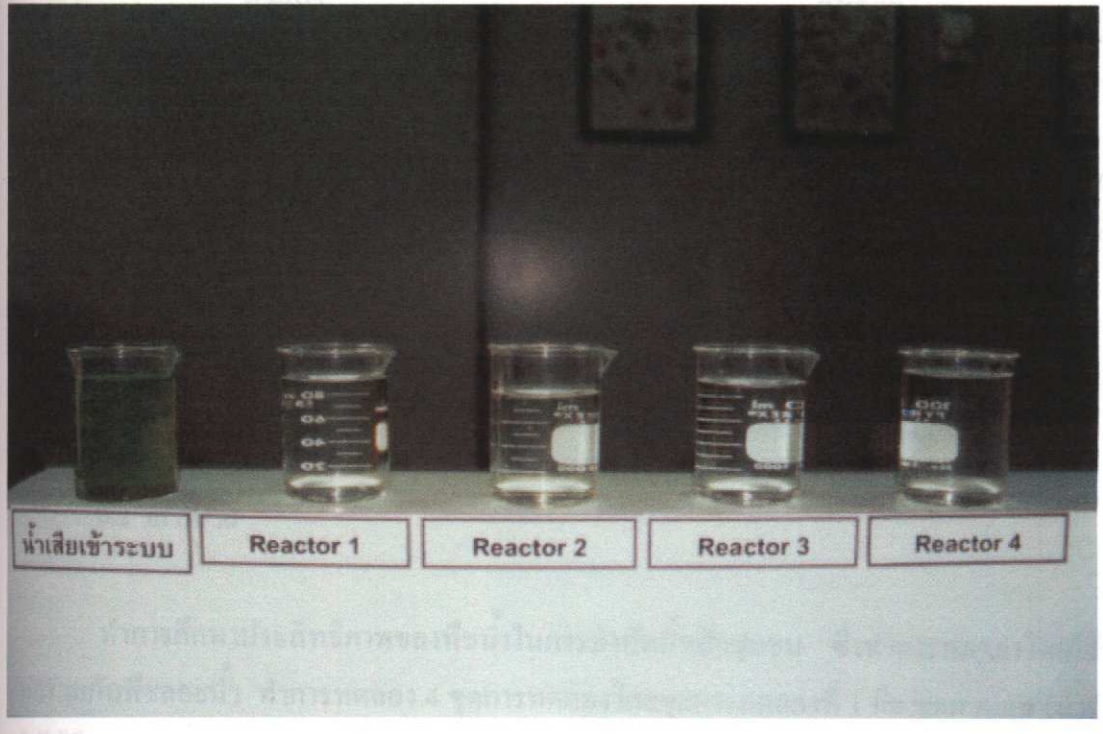



**ภาพที่ 25** แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด Fecal Coliform ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

จากตารางที่ 15 และภาพที่ 24 พบว่าค่า Fecal Coliform ของน้ำเสียเข้าระบบ, ชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 23-240, 2-13, 2-4, 2-23 และ 2-13 MPN/100 mL และมีค่าเฉลี่ย 102, 4, 3, 14 และ 4 MPN/100 mL ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดโดยชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งบำบัดโดยผักกระเฉด มีค่า Fecal Coliform มากที่สุด และพบว่า Fecal Coliform ของน้ำที่บำบัดโดยชุดการทดลองที่ 3 ครั้งที่ 1-4 มีค่าเท่ากับ Fecal Coliform ของน้ำเสียเข้าระบบ คือ 23 MPN/100 mL (แสดงในตารางผนวกที่ ก-11) เนื่องจากผักกระเฉดมีสภาพลำต้น ใบ และรากเน่าเปื่อย ทำให้ประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้าย Fecal Coliform Bacteria ต่ำ

จากตารางที่ 15 และภาพที่ 25 พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด Fecal Coliform Bacteria ของชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 43.5-99.2%, 69.6-99.2%, 53.2-99.2% และ 43.5-99.2% มีค่าเฉลี่ย 92.7%, 88.3%, 89.8% และ 88.2 % ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด Fecal Coliform Bacteria ของชุดการทดลองที่บำบัดโดยพืชน้ำ มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดสามารถบำบัด Fecal Coliform Bacteria ได้ จะเห็นได้ว่าการบำบัด Fecal Coliform Bacteria โดยผักกระเฉด จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัด Fecal

Coliform Bacteria สูงขึ้นในการทดลองที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง 25-40 วัน เนื่องจากมีการซ่อมแซมผักกระเฉด และนำมาปลูกใหม่ แสดงว่าผักกระเฉดที่อยู่ในระยะเจริญเติบโตมีประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้าย Fecal Coliform Bacteria สูงกว่าผักกระเฉดที่เข้าสู่สภาวะหยุดการเจริญเติบโต ซึ่งสภาพจริงแล้วผักตบชวามีความสามารถในการบำบัด Fecal Coliform Bacteria ได้ดีกว่าผักบุ้ง และผักกระเฉด แต่เนื่องจากชุดการทดลองที่บำบัดโดยผักตบชวาได้รับแสงแดดน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ทำให้ประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้าย Fecal Coliform Bacteria ต่ำลง เมื่อพิจารณาชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช) ประสิทธิภาพในการบำบัด Fecal Coliform Bacteria มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ คือ 92.7% เนื่องจากชุดควบคุมเป็นชุดการทดลองที่ได้รับแสงแดดมากที่สุด ซึ่งรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) สามารถฆ่าเชื้อโรคได้ จึงส่งผลให้ Fecal Coliform Bacteria บางส่วนตายลงได้




**ภาพที่ 26** แสดงลักษณะน้ำเสียเข้าระบบและน้ำที่ผ่านการบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

## 4.2 ผลการทดลองที่ 2 : ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ (ระยะเวลาเก็บกัก 2.4 วัน)

### 4.2.1 ผลการศึกษาน้ำเสียเข้าสู่บ่อบึงประดิษฐ์ที่ 2 จากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

จากการศึกษาน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียในงานวิจัยพบว่า ค่า pH อยู่ในช่วง 6.5-7.5 เฉลี่ย 7.1 ค่า $BOD_5$ อยู่ในช่วง 6.0-27.0 mg/L เฉลี่ย 20.5 mg/L ค่า SS อยู่ในช่วง 73.0-319.7 mg/L เฉลี่ย 137.9 mg/L ค่า TKN อยู่ในช่วง 2.8-7.6 mg/L เฉลี่ย 5.0 mg/L ค่า TP อยู่ในช่วง 0.66-0.79 mg/L เฉลี่ย 0.68 mg/L และค่า Fecal Coliform อยู่ในช่วง 70-900 MPN/100 mL เฉลี่ย 268 MPN/100 mL ผลการศึกษาและค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ แสดงดังตารางที่ 16

**ตารางที่ 16** แสดงผลการวิเคราะห์น้ำเสียเข้าสู่บ่อบึงประดิษฐ์ที่ 2 จากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

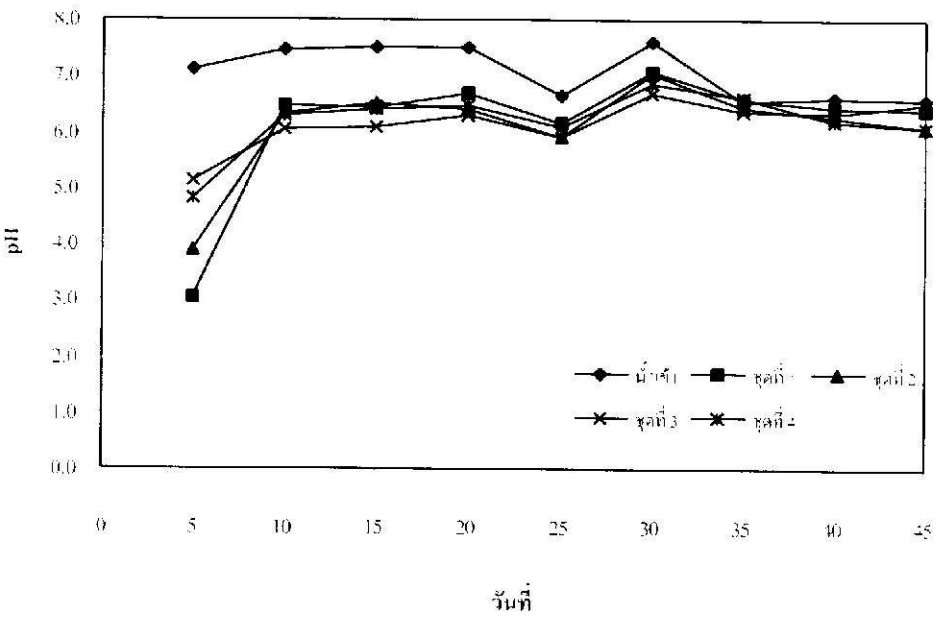
| ตัวแปร | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|
| 1. pH | 7.1 |
| 2. $BOD_5$ (mg/L) | 20.5 |
| 3. SS (mg/L) | 137.9 |
| 4. TKN (mg/L) | 5.0 |
| 5. TP (mg/L) | 0.68 |
| 6. Fecal Coliform (MPN/100 mL) | 268 |

### 4.2.2 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำเข้าและน้ำผ่านการบำบัดที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งทำการทดลองโดยใช้ระบบบ่อร่วมกับพืชลอยน้ำ ทำการทดลอง 4 ชุดการทดลองโดยชุดการทดลองที่ 1 คือ ชุดควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช) ชุดการทดลองที่ 2 คือ ชุดบำบัดโดยผักบุ้ง ชุดการทดลองที่ 3 คือ ชุดบำบัดโดยผักกระเฉด และชุดการทดลองที่ 4 คือ ชุดบำบัดโดยผักตบชวา โดยเลือกใช้ค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่เหมาะสมกับระบบบ่อคือ 0.2 $m^3/m^2.d$ ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด 60 ลิตร/วัน และระยะเวลาเก็บกัก 2.4 วัน ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทุก 5 วันเป็นระยะเวลารวมทั้งสิ้น 45 วัน โดยนำเสนอผลการทดลองและวิจารณ์ ซึ่งแบ่งเป็นตัวแปรต่างๆ

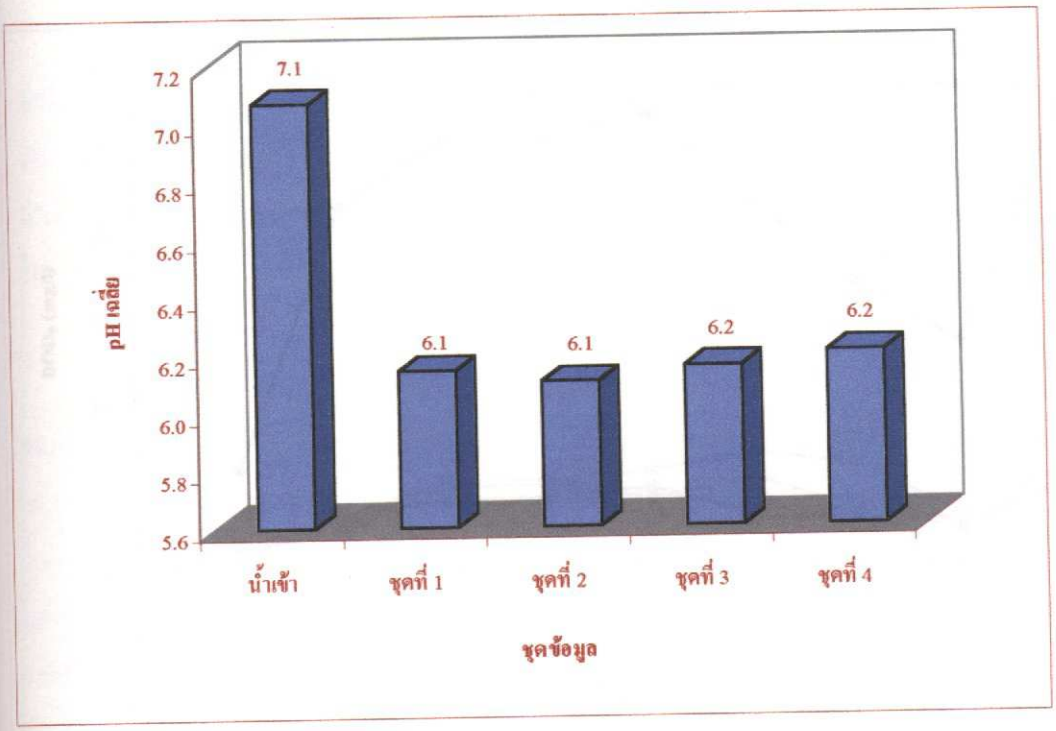
**ตารางที่ 17** แสดงค่า pH เฉลี่ยของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

| ชุดการทดลองที่ | การทดลอง | pH เฉลี่ย |
|---|---|---|
| น้ำเข้าระบบ | - | 7.1 |
| 1 | ถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช) | 6.1 |
| 2 | บำบัดโดยผักบุ้ง | 6.1 |
| 3 | บำบัดโดยผักกระเฉด | 6.2 |
| 4 | บำบัดโดยผักตบชวา | 6.2 |




**ภาพที่ 27** แสดงค่า pH ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

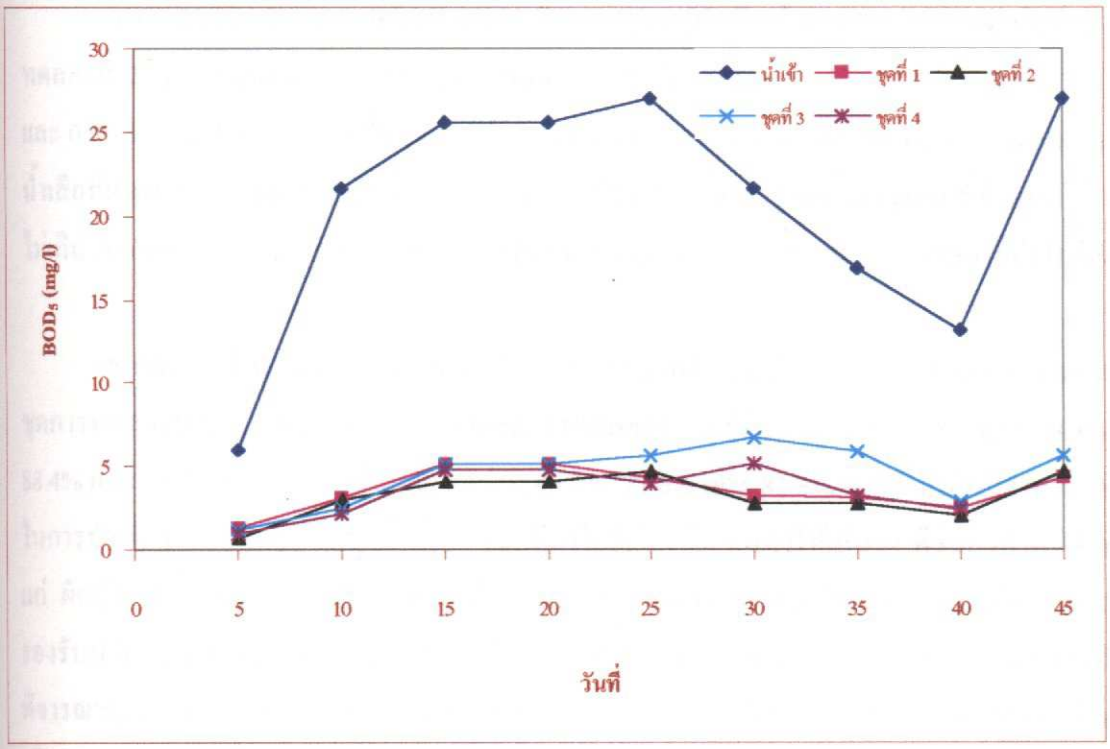
จากตารางที่ 17 และภาพที่ 27-28 พบว่า ค่า pH ของน้ำเสียเข้าระบบ, ชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 6.5-7.5, 3.0-7.1, 3.9-7.1, 5.1-6.7 และ 4.8-6.9 และมีค่าเฉลี่ย 7.1, 6.1, 6.1, 6.2 และ 6.2 ตามลำดับ พบว่า ค่า pH ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่าต่ำกว่าน้ำเสียที่เข้าระบบเล็กน้อย แต่ค่า pH ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง pH ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ซึ่งกำหนดให้ค่า pH อยู่ในช่วง 5-9



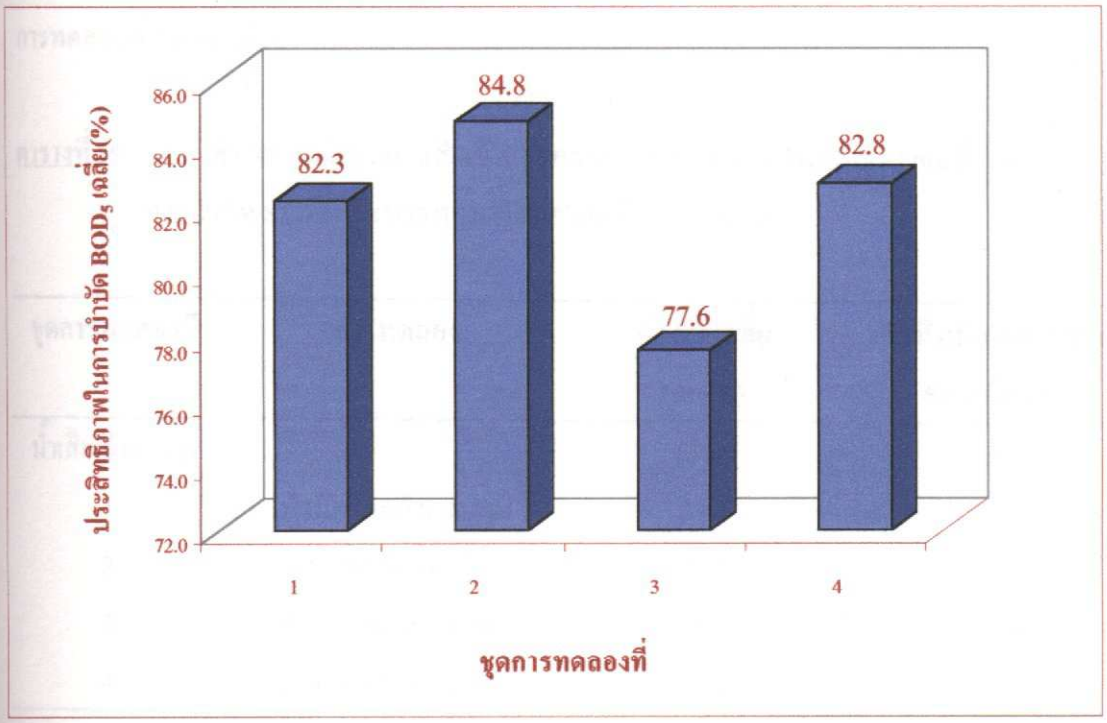

**ภาพที่ 28** แสดงค่า pH เฉลี่ยของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

**ตารางที่ 18** แสดงค่า $BOD_5$ เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด $BOD_5$ ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

| ชุดการทดลองที่ | การทดลอง | ค่า $BOD_5$ เฉลี่ย (mg/L) | ประสิทธิภาพการบำบัด $BOD_5$ เฉลี่ย (%) |
|---|---|---|---|
| น้ำเสียเข้าระบบ | - | 20.5 | - |
| 1 | บำบัดโดยถังควบคุม | 3.5 | 82.3 |
| 2 | บำบัดโดยผักบุ้ง | 3.2 | 84.3 |
| 3 | บำบัดโดยผักกระเฉด | 4.5 | 77.6 |
| 4 | บำบัดโดยผักตบชวา | 3.5 | 82.8 |




**ภาพที่ 29** แสดงค่า $BOD_5$ ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$



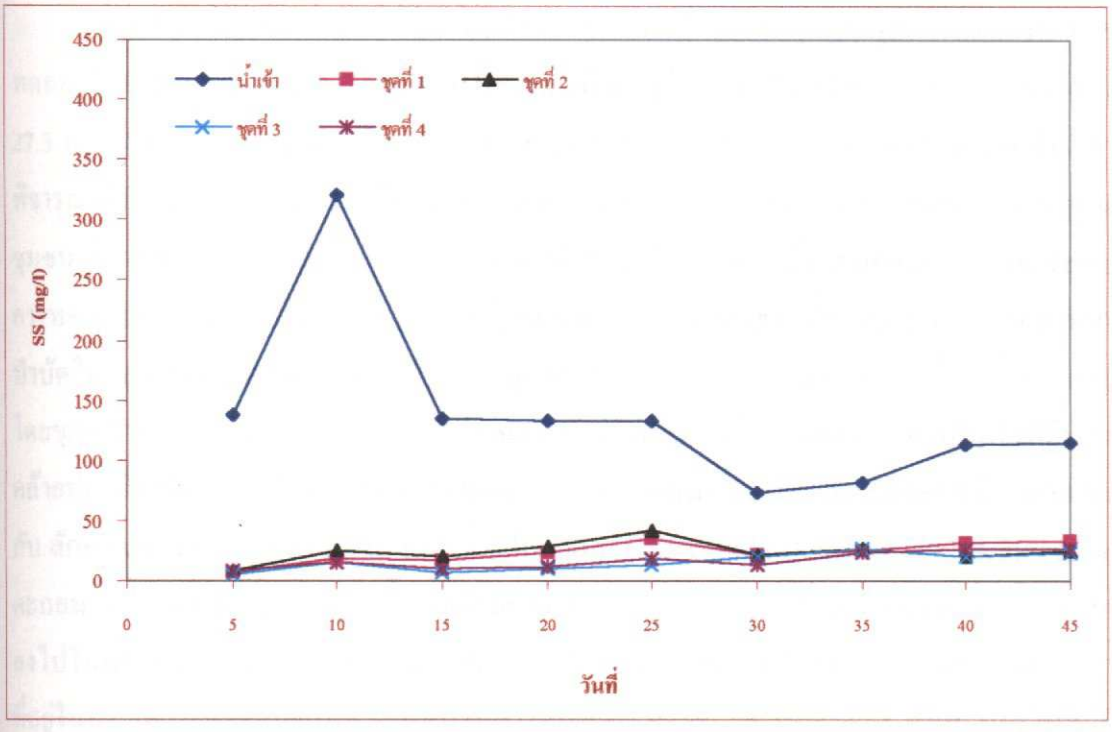

**ภาพที่ 30** แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด $BOD_5$ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

จากตารางที่ 18 และภาพที่ 29 พบว่า ค่า $BOD_5$ ของน้ำเสียเข้าระบบ, ชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 6-27, 1.3-5.1, 0.7-4.7, 1.25-6.8 และ 0.95-5.2 mg/L และมีค่าเฉลี่ย 20.5, 3.5, 3.2, 4.5 และ 3.5 mg/L ตามลำดับ พบว่าค่า $BOD_5$ เฉลี่ยของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากชุดการทดลองทั้ง 4 ชุด ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนที่กำหนดไว้ คือมีค่าไม่เกิน 20 mg/L และผลการทดลองพบว่าค่า $BOD_5$ ที่ผ่านการบำบัดทั้ง 4 ชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

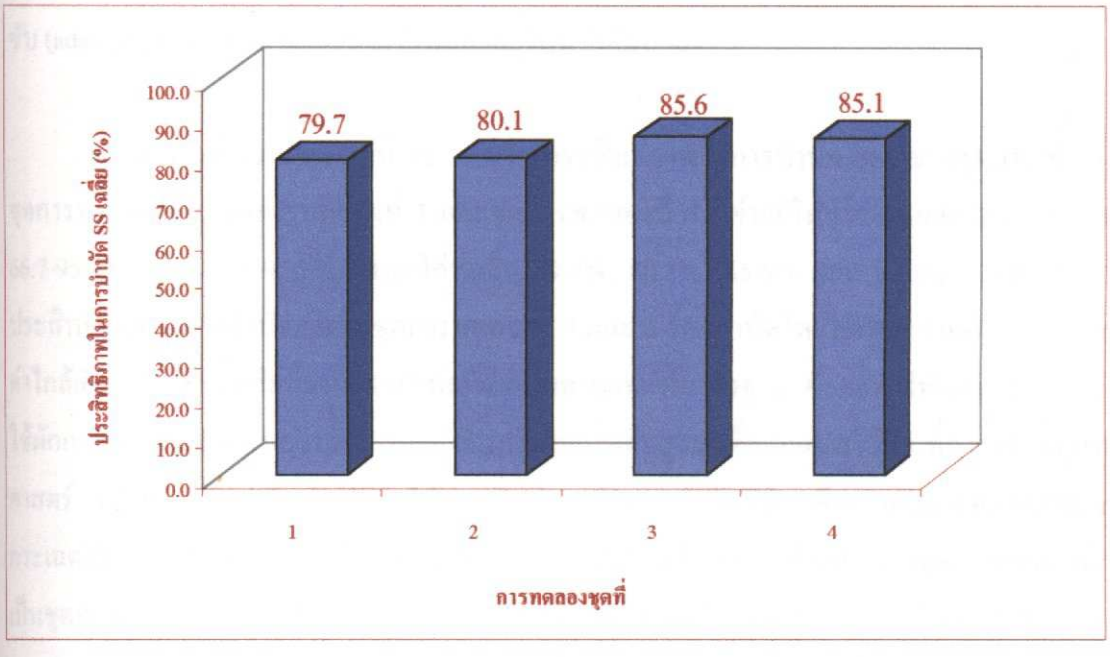
จากตารางที่ 18 และภาพที่ 30 พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัด $BOD_5$ ของชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 อยู่ในช่วง 78.3-85.7%, 82.6-88.3%, 65.2-88.4% และ 76.2-89.8% และมีค่าเฉลี่ย 82.3%, 84.8%, 77.6% และ 82.8% ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด $BOD_5$ โดยพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่า พืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิดได้แก่ ผักบุ้ง, ผักกระเฉด และผักตบชวา มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้เช่นเดียวกัน และสามารถรองรับปริมาณน้ำเสียสูงสุดที่ออกแบบไว้ได้ (ภาระบรรทุกชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$) ในขณะเดียวกัน เมื่อพิจารณาชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช) สามารถบำบัด $BOD_5$ ได้เช่นกัน เนื่องจากบริเวณผิวน้ำของชุดการทดลองมีสาหร่ายจำนวนมาก เมื่อสาหร่ายมีการสังเคราะห์แสง จะปล่อยออกซิเจนออกมาเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้แก่น้ำเสีย ส่งผลให้แบคทีเรียและจุลชีพสามารถเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี และสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำได้ จึงเป็นผลให้ $BOD_5$ ของน้ำเสียในชุดการทดลองที่ 1 ลดลงด้วย

**ตารางที่ 19** แสดงค่า SS เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด SS ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

| ชุดการทดลองที่ | การทดลอง | ค่า SS เฉลี่ย (mg/L) | ประสิทธิภาพการบำบัด SS เฉลี่ย (%) |
|---|---|---|---|
| น้ำเสียเข้าระบบ | - | 137.9 | - |
| 1 | บำบัดโดยถังควบคุม | 23.3 | 79.7 |
| 2 | บำบัดโดยผักบุ้ง | 23.5 | 80.1 |
| 3 | บำบัดโดยผักกระเฉด | 15.7 | 85.6 |
| 4 | บำบัดโดยผักตบชวา | 17.1 | 85.1 |




**ภาพที่ 31** แสดงค่า SS ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$



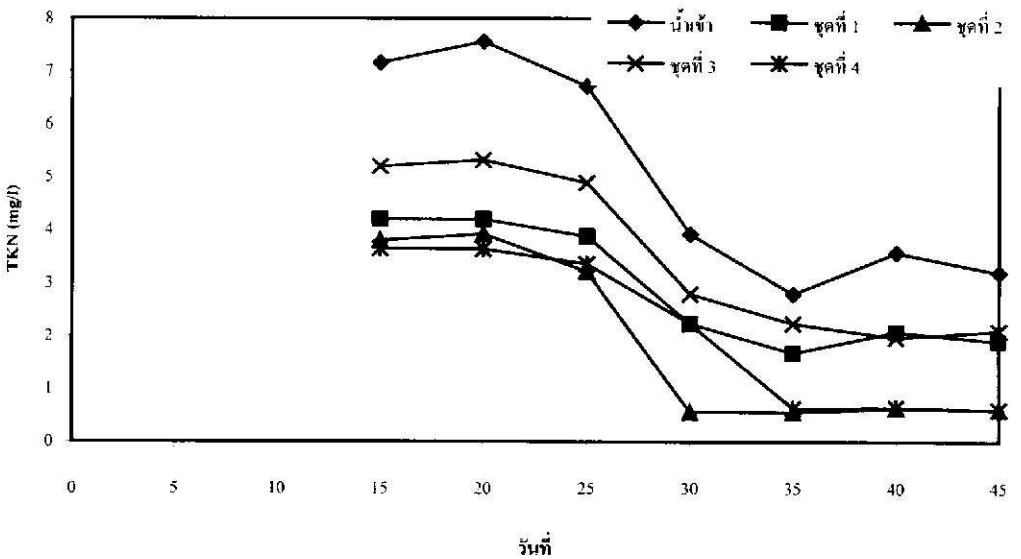

**ภาพที่ 32** แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด SS ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

จากตารางที่ 19 และภาพที่ 31 พบว่า ค่า SS ของน้ำเสียเข้าระบบ, ชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 อยู่ในช่วง 73.0-319.7, 6.5-35.3, 8.1-40.7, 5.7-27.3 และ 8.6-27.3 mg/L และมีค่าเฉลี่ย 137.9, 23.3, 23.5, 15.7 และ 17.1 mg/L ตามลำดับ จากการพิจารณาค่า SS เฉลี่ยของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากชุดการทดลองทั้ง 4 ชุด ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ที่กำหนดไว้คือไม่เกิน 30 mg/L แต่เมื่อพิจารณาค่า SS ของน้ำเสียที่ออกจากระบบ จะพบว่าชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ยังมีค่า SS บางค่าที่ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน แต่น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยชุดการทดลองที่ 3 และ 4 มีค่า SS ทุกค่าที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งบำบัดโดยผักกระเฉดมีค่า SS ต่ำสุด เนื่องจากผักกระเฉดเป็นพืชที่มีนวมสีขาวคล้ายฟองน้ำ หุ้มติดอยู่เพื่อทำหน้าที่พยุงให้ผักกระเฉด ลอยน้ำ และมีลำต้นสัมผัสกับน้ำ และรากสัมผัสกับ ลักษณะของรากจะสั้น และเป็นฝอย ซึ่งเป็นตัวกลางในการกรอง (filtration) และดูดซับ (adsorption) ตะกอน และของแข็งที่ลอยอยู่ในน้ำ อีกทั้งส่วนของรากและลำต้นยังทำให้แสงแดดไม่สามารถส่องผ่านลงไปในน้ำเป็นผลให้สาหร่ายไม่สามารถดำรงชีพได้ ดังนั้นจึงช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่อยู่ในน้ำ เพราะสาหร่ายเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำมีค่า SS สูง ส่วนของก้าน, ลำต้น และใบที่อยู่เหนือน้ำ จะลดผลกระทบ (effect) ของลมที่มีต่อน้ำ เช่น การพัดและทำให้ตะกอนที่จมอยู่ขุ่นขึ้นมา (Stowell et. al., 1981) ส่วนน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยผักบุ้งและผักตบชวาลด SS ได้น้อยกว่า เนื่องจากส่วนของรากและลำต้นที่สัมผัสกับผิวน้ำมีลักษณะกระจายออกจากกันมากกว่าผักกระเฉด ทำให้กรอง (filtration) และดูดซับ (adsorption) ตะกอน และของแข็งที่ลอยอยู่ในน้ำได้น้อยลง

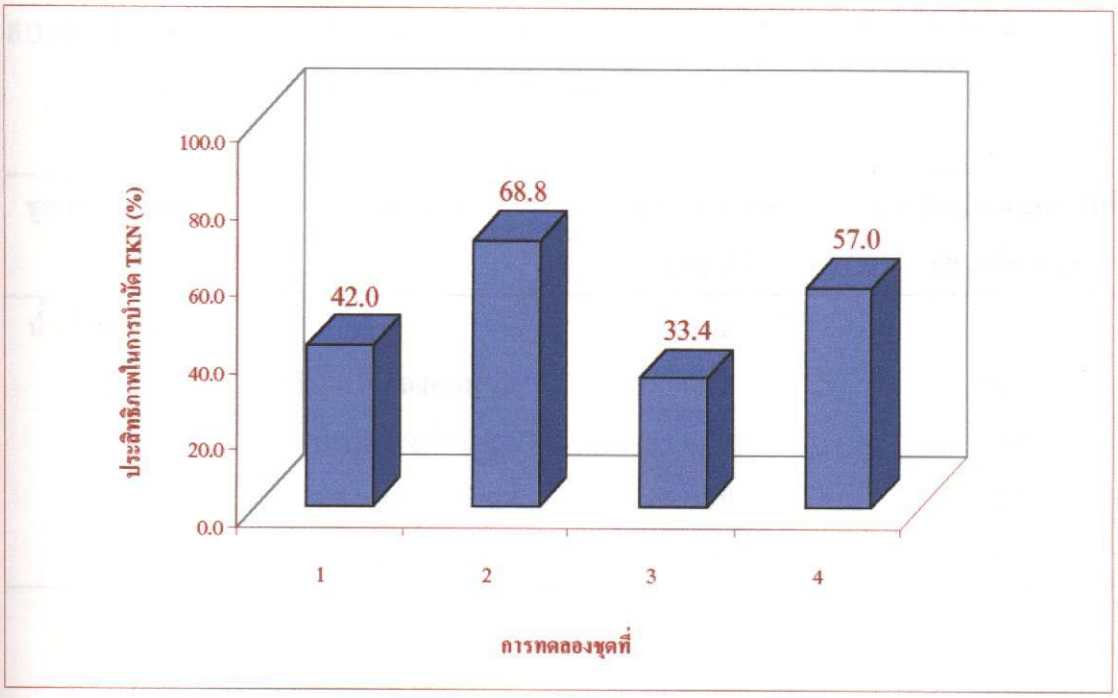
จากตารางที่ 19 และภาพที่ 32 พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัด SS ของชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 68.9-95.3%, 68.3-94.1%, 66.7-95.9% และ 72.3-95.3% และมีค่าเฉลี่ย 79.7%, 80.1%, 85.6% และ 85.1% ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด SS ในชุดการทดลองที่ 3 และ 4 โดยบำบัดโดยใช้ผักกระเฉด และผักตบชวามีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่าผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการบำบัดโดยใช้ผักกระเฉด และผักตบชวาสามารถรองรับปริมาณน้ำเสียสูงสุดที่ออกแบบไว้คือ ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ ได้ และยังคงให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดี ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ผักกระเฉดมีความสามารถในการบำบัด SS มากที่สุดดังเหตุผลข้างต้น เมื่อพิจารณาชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช) สามารถบำบัด SS ได้เช่นกัน มีประสิทธิภาพในการบำบัด SS เฉลี่ย 79.7% เนื่องจากตะกอนบางส่วนจะตกลงสู่ก้นถังควบคุมก่อนที่จะไหลมาถึงทางน้ำออก ส่งผลให้ถังควบคุมสามารถบำบัด SS ได้เช่นกัน

**ตารางที่ 20** แสดงค่า TKN เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TKN ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

| ชุดการทดลองที่ | การทดลอง | ค่า TKN เฉลี่ย (mg/L) | ประสิทธิภาพการบำบัด TKN เฉลี่ย (%) |
|---|---|---|---|
| น้ำเสียเข้าระบบ | - | 5.0 | - |
| 1 | บำบัดโดยถังควบคุม | 2.9 | 42.0 |
| 2 | บำบัดโดยผักบุ้ง | 1.9 | 68.8 |
| 3 | บำบัดโดยผักกระเฉด | 3.5 | 33.4 |
| 4 | บำบัดโดยผักตบชวา | 2.1 | 57.0 |




**ภาพที่ 33** แสดงค่า TKN ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$



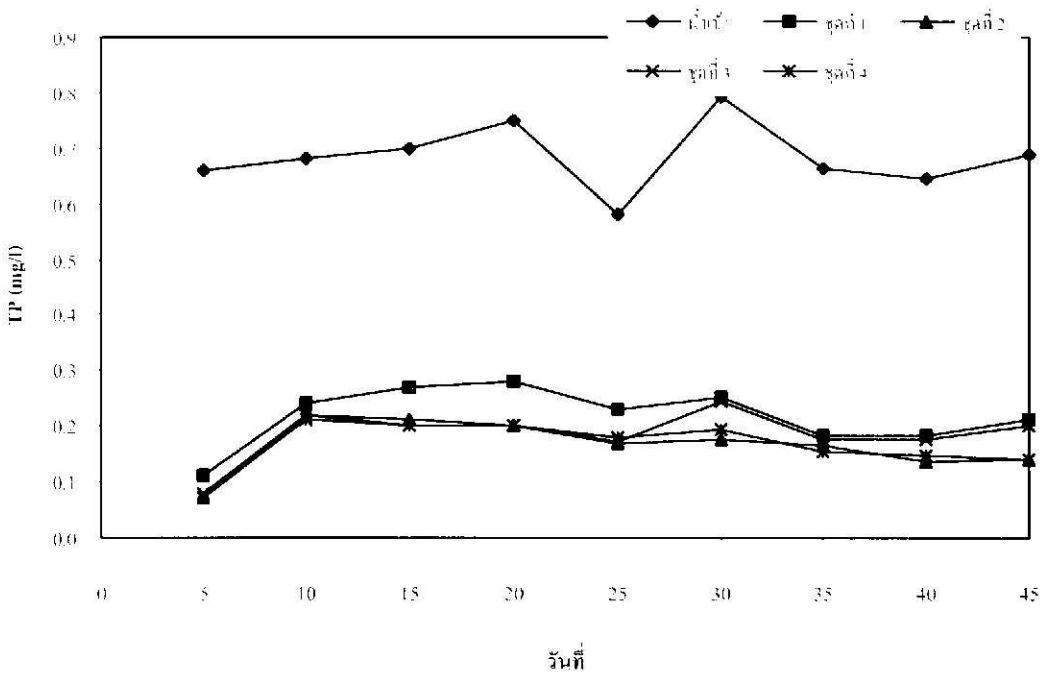

**ภาพที่ 34** แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TKN ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

จากตารางที่ 20 และภาพที่ 33 พบว่า ค่า TKN ของน้ำเสียเข้าระบบ, ชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 2.8-7.6, 1.7-4.2, 0.6-3.9, 2.0-5.3 และ 0.6-3.7 mg/L และมีค่าเฉลี่ย 5.0, 2.9, 1.9, 3.5 และ 2.1 mg/L ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่า TKN เฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดการทดลองทั้ง 4 ชุด ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนที่กำหนดไว้คือไม่เกิน 35 mg/L แต่น้ำเสียที่บำบัดโดยชุดการทดลองที่ 2 และ 4 ซึ่งบำบัดโดยผักบุ้งและผักตบชวา มีค่า TKN ต่ำ โดยเฉพาะบำบัดโดยบุ้ง มีค่า TKN ต่ำที่สุด ซึ่งสามารถรองรับปริมาณน้ำเสียสูงสุดที่ออกแบบไว้ (ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$) ได้เป็นอย่างดี

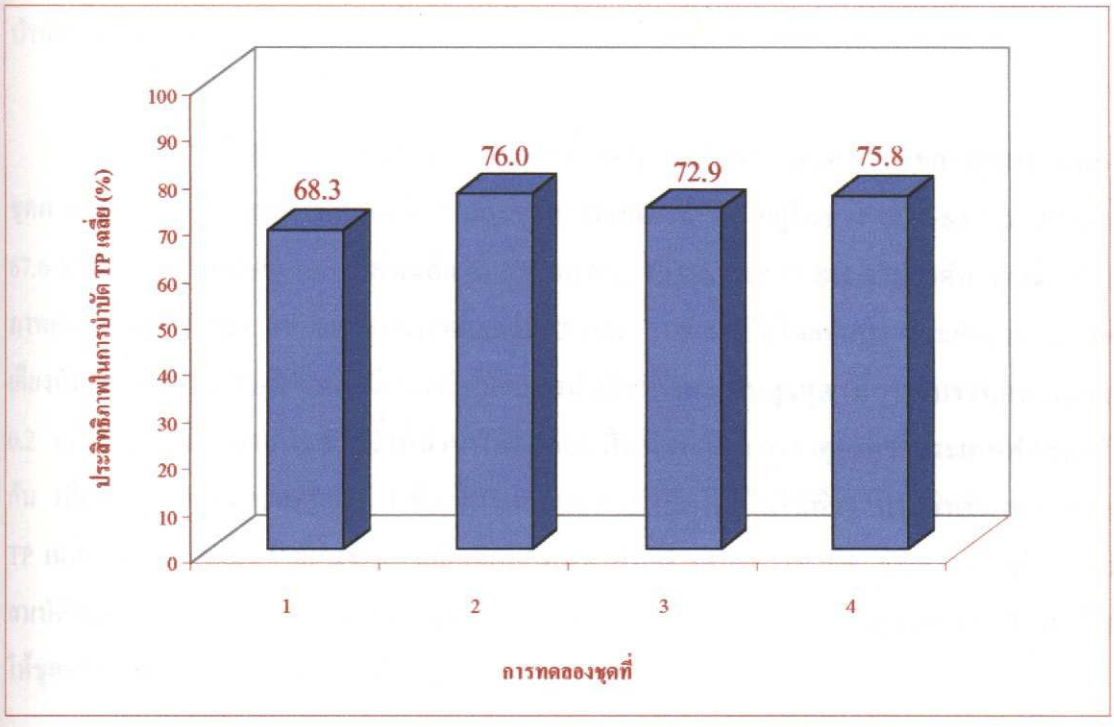
จากตารางที่ 20 และ ภาพที่ 34 พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ของชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 40.0-44.4%, 46.5-85.7%, 26.3-45.0% และ 4.9-81.9% และมีค่าเฉลี่ย 42.0%, 68.8%, 33.4% และ 57.0% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ของชุดการทดลองที่บำบัดโดยพืชน้ำ สามารถบำบัด TKN ได้ เนื่องจากพืชที่นำมาใช้ทดลองได้แก่ ผักบุ้ง, ผักกระเฉด และผักตบชวาเป็นพืชที่ต้องการธาตุไนโตรเจนไปเลี้ยงใบ จึงสามารถบำบัด TKN ได้ เมื่อพิจารณาในภาพรวมพบว่า พืชลอยน้ำที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทั้ง 3 ชนิด สามารถนำมาใช้ในการบำบัดร่วมกับระบบบ่อได้ เป็นอย่างดี

**ตารางที่ 21** แสดงค่า TP เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TP ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

| ชุดการทดลองที่ | การทดลอง | ค่า TP เฉลี่ย (mg/L) | ประสิทธิภาพการบำบัด TP เฉลี่ย (%) |
|---|---|---|---|
| น้ำเสียเข้าระบบ | - | 0.68 | - |
| 1 | บำบัดโดยถังควบคุม | 0.22 | 68.3 |
| 2 | บำบัดโดยผักบุ้ง | 0.17 | 76.0 |
| 3 | บำบัดโดยผักกระเฉด | 0.19 | 72.9 |
| 4 | บำบัดโดยผักตบชวา | 0.17 | 75.8 |




**ภาพที่ 35** แสดงค่า TP ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$




**ภาพที่ 36** แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TP ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

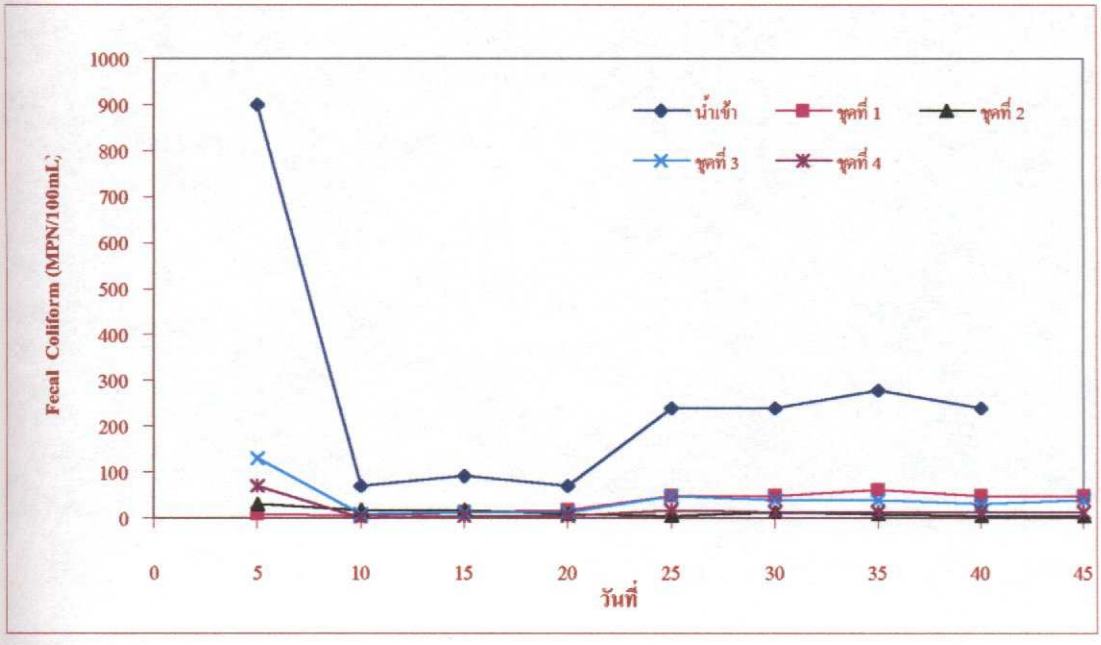
จากตารางที่ 21 และภาพที่ 35 พบว่า ค่า TP ของน้ำเสียเข้าระบบ, ชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 อยู่ในช่วง 0.64-0.79, 0.11-0.28, 0.07-0.22, 0.08-0.24 และ 0.07-0.20 mg/L และมีค่าเฉลี่ย 0.68, 0.22, 0.17, 0.19 และ 0.17 mg/L ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยชุดการทดลองที่ 2 และ 4 ซึ่งบำบัดโดยผักบุ้งและผักตบชวา มีค่า TP ต่ำสุด แต่เมื่อพิจารณาในภาพรวม พบว่าพืชลอยน้ำที่ใช้ในงานวิจัยทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถในการบำบัด TP ได้ เมื่อรองรับปริมาณน้ำเสียสูงสุดที่ออกแบบไว้ได้ แต่คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทั้ง 3 ชุดโดยใช้พืชลอยน้ำที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$ มีคุณภาพต่ำกว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทั้ง 3 ชุดโดยใช้พืชลอยน้ำที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ ซึ่งธาตุฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่ช่วยบำรุงส่วนก้าน, ลำต้น และดอกของพืช จึงเหมาะที่พืชลอยน้ำจะดึงธาตุฟอสฟอรัสในน้ำไปใช้สำหรับเลี้ยงส่วนต่างๆ และจากผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียโดยพืชน้ำ ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำกับสารอาหารในบึงมักกะสันพบว่า ความสามารถในการดูดซับธาตุฟอสฟอรัสคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในน้ำหนักแห้งของผักกระเฉด 0.442 ซึ่งจากการศึกษาครั้ง

นี้พบว่า ผักกระเฉดมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารได้ดี มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย (วนิดา, 2532)

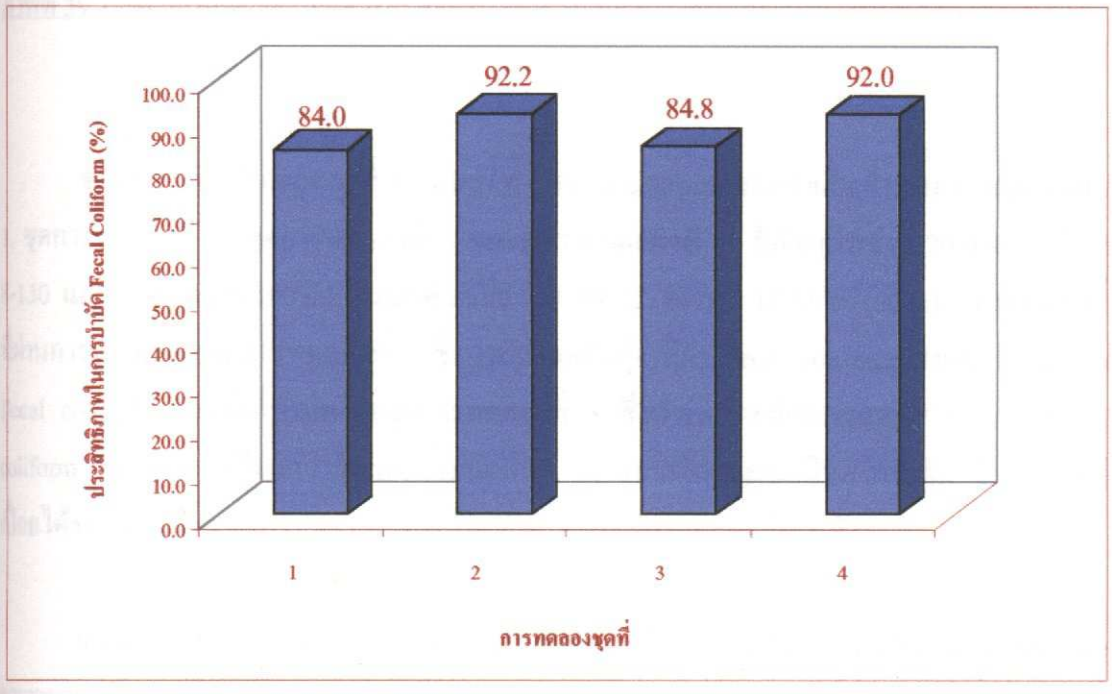
จากตารางที่ 21 และภาพที่ 36 พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัด TP ของชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 อยู่ในช่วง 60.4-83.3%, 67.6-89.4%, 67.6-87.9% และ 69.0-89.4% มีค่าเฉลี่ย 68.3%, 76.0%, 72.9% และ 75.8% ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด TP ของชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ซึ่งบำบัดโดยผักบุ้ง และผักตบชวา มีค่าใกล้เคียงกัน และให้ประสิทธิภาพดี เมื่อรองรับปริมาณน้ำเสียที่ออกแบบสูงสุด (ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$) เนื่องจากพืชลอยน้ำที่นำมาใช้ทดลองเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารประเภทฟอสฟอรัสเช่นกัน เมื่อพิจารณาชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช) ประสิทธิภาพในการบำบัด TP เฉลี่ย 68.3% ซึ่งถือว่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพในการบำบัด TKN อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติเฉพาะของสาหร่ายที่ต้องการธาตุฟอสฟอรัสในการดำรงชีพ มากกว่าธาตุอาหารชนิดอื่น จึงส่งผลให้ชุดควบคุมสามารถบำบัด TP ได้เช่นกัน

<u>ตารางที่ 22</u> แสดงค่า Fecal coliform เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด Fecal coliform ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

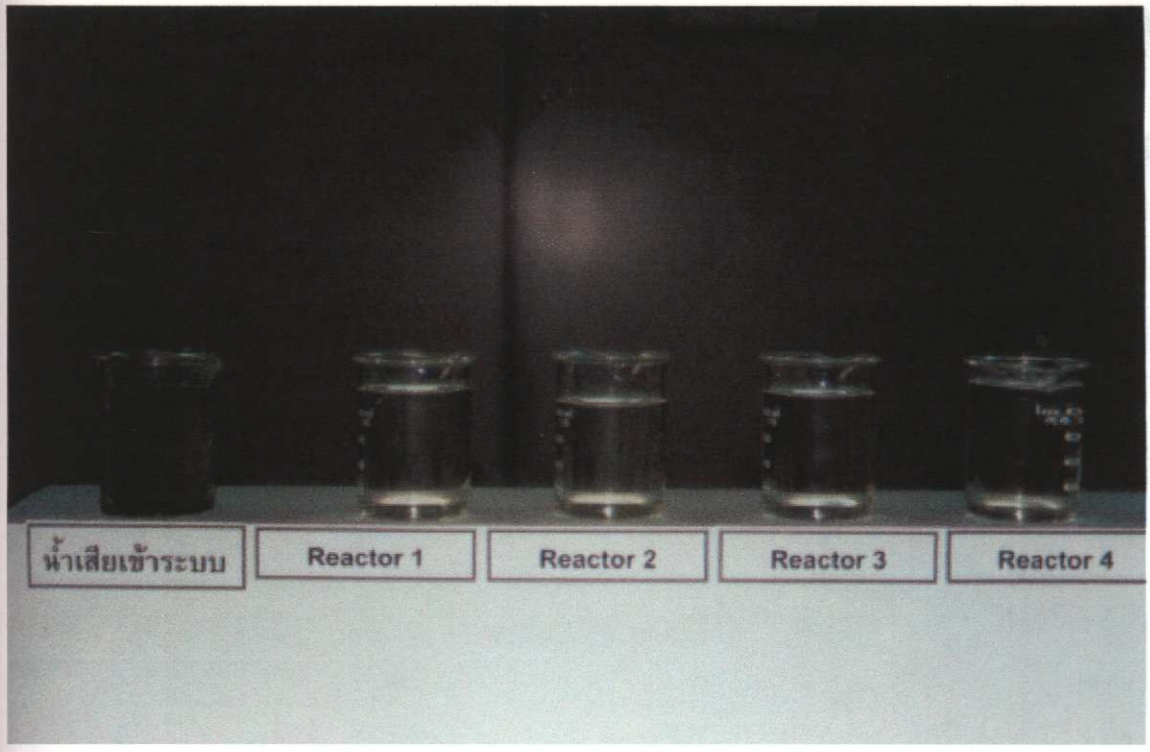
| ชุดการทดลองที่ | การทดลอง | ค่า Fecal coliform เฉลี่ย (MPN/100 mL) | ประสิทธิภาพการบำบัด Fecal coliform เฉลี่ย (%) |
|---|---|---|---|
| น้ำเสียเข้าระบบ | - | 268 | - |
| 1 | บำบัดโดยถังควบคุม | 33 | 84.0 |
| 2 | บำบัดโดยผักบุ้ง | 12 | 92.2 |
| 3 | บำบัดโดยผักกระเฉด | 40 | 84.8 |
| 4 | บำบัดโดยผักตบชวา | 17 | 92.0 |




**ภาพที่ 37** แสดงค่า Fecal Coliform ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$




**ภาพที่ 38** แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด Fecal coliform ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$




**ภาพที่ 39** แสดงลักษณะน้ำเสียเข้าระบบและน้ำที่ผ่านการบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

จากตารางที่ 22 และภาพที่ 37 พบว่า ค่า Fecal coliform ของน้ำเสียเข้าระบบ, ชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 70-900, 4-63, 4-30, 8-130 และ 2-70 MPN/100 mL และมีค่าเฉลี่ย 268, 33, 12, 40 และ 17 MPN/100 mL ตามลำดับ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งบำบัดโดยผักบุ้ง มีค่า Fecal coliform มากที่สุด และพบว่า Fecal coliform ของน้ำที่บำบัดโดยชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งบำบัดโดยผักกระเฉดจะสามารถกำจัด Fecal coliform bacteria ได้น้อยกว่าผักลอยน้ำชนิดอื่นๆ เนื่องจากผักกระเฉดมีสภาพลำต้น ใบ และรากเน่าเปื่อยได้ง่าย ทำให้ประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้าย Fecal coliform bacteria ต่ำ

จากตารางที่ 22 และภาพที่ 38 พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัด Fecal coliform bacteria ของชุดการทดลองที่ 1, ชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 75.7-99.0%, 75.1-98.5%, 79.2-88.6% และ 70.0-97.1% มีค่าเฉลี่ย 84.0%, 92.2%, 84.8% และ 92.0% ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด Fecal coliform bacteria ของชุดการทดลองที่บำบัดโดยพืชลอยน้ำ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะผักบุ้งและผักตบชวา ให้ประสิทธิภาพค่อนข้างดี สามารถรองรับปริมาณน้ำเสียที่ออกแบบสูงสุดได้ดี (ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$) ดังนั้นพืชน้ำทั้ง 3

ชนิดสามารถบำบัด Fecal coliform bacteria ได้ จะเห็นได้ว่าการบำบัด Fecal coliform bacteria โดยผักบุ้ง จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัด Fecal coliform bacteria สูงขึ้น ซึ่งจากสภาพความเป็นจริงผักตบชวามีความสามารถในการบำบัด Fecal coliform bacteria ได้ดีกว่าผักบุ้ง และผักกระเฉด แต่เนื่องจากชุดการทดลองที่บำบัดโดยผักตบชวาได้รับแสงแดดน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ทำให้ประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้าย Fecal coliform bacteria ต่ำลง เมื่อพิจารณาชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช) ประสิทธิภาพในการบำบัด Fecal coliform bacteria มีค่าค่อนข้างสูงคือ 84.0% เนื่องจากชุดควบคุมเป็นชุดการทดลองที่ได้รับแสงแดดมากที่สุด ซึ่งรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) สามารถฆ่าเชื้อโรคได้ จึงส่งผลให้ Fecal coliform bacteria บางส่วนตายลงได้

# บทที่ 5
# สรุป

## 5.1 สรุปผลการศึกษา

### 5.1.1 การทดลองที่ 1 : ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

1) จากการศึกษาน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมเทศบาลนครหาดใหญ่ พบว่ามีค่าความเป็นกรดด่าง, ค่าความสกปรกที่พิจารณาในรูป $BOD_5$, ค่าของแข็งแขวนลอย (SS), ค่าสารอาหารในรูปไนโตรเจน (TKN), ฟอสฟอรัส (TP) และ Fecal coliform bacteria มีค่าเฉลี่ย 6.4, 29 mg/L, 206.3 mg/L, 4.0 mg/L, 1.11 mg/L และ 101.9 MPN/100 mL ตามลำดับ

ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแต่ละชุดการทดลองสรุปดังตารางที่ 23 ดังนี้

**ตารางที่ 23** แสดงผลสรุปการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแต่ละชุดการทดลอง ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

| ตัวอย่างน้ำ | ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $BOD_5$ | SS | TKN | TP | Fecal Coliform |
| ชุดที่ 1 | 71.5 | 90.2 | 3.4 | 85.8 | 92.7 |
| ชุดที่ 2 | 90.6 | 92.1 | 49.2 | 91.3 | 88.3 |
| ชุดที่ 3 | 91.3 | 96.7 | 52.6 | 93.9 | 89.8 |
| ชุดที่ 4 | 91.0 | 94.4 | 61.2 | 92.1 | 88.2 |

หมายเหตุ ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 8 ครั้ง ยกเว้น TKN ทำการทดลอง 4 ครั้ง เนื่องจากเครื่องมือในการทดลองชำรุด

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)
ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง
ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด
ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

2) จากการศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งทำการทดลองโดยใช้ระบบบ่อร่วมกับพืชลอยน้ำ ทำการทดลอง 4 ชุดการทดลอง โดยเลือกใช้ค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่

เหมาะสมกับระบบบ่อ คือ 0.025 $m^3/m^2.d$ ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด 7.5 ลิตร/วัน และระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน พบว่า พืชทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ผักบุ้ง, ผักกระเฉด และ ผักตบชวา มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ใกล้เคียงกัน เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากค่าตัวแปรที่ผ่านการบำบัดแล้ว พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แสดงว่าพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิดนี้ เลือกพืชชนิดใดก็ได้มาใช้บำบัดน้ำเสีย แต่ถ้าจะให้ประหยัดค่าใช้จ่าย และลดภาระในการดูแลรักษาพืช ควรเลือกพืชที่มีความคงทนและดูแลรักษาง่าย ซึ่งก็คือผักบุ้งและผักตบชวา แต่ผักบุ้งเป็นพืชที่ปลูกให้กระจายครอบคลุมพื้นที่ผิวน้ำได้ยากกว่าผักตบชวา ดังนั้นหากใช้ระบบบ่อร่วมกับพืชลอยน้ำ ควรเลือกใช้ผักตบชวา

### 5.1.2 การทดลองที่ 2 : ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

1) จากการศึกษาน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมเทศบาลนครหาดใหญ่ พบว่ามีค่าความเป็นกรดด่าง, ค่าความสกปรกที่พิจารณาในรูป $BOD_5$, ค่าของแข็งแขวนลอย (SS), ค่าสารอาหารในรูปไนโตรเจน (TKN), ฟอสฟอรัส (TP) และ Fecal coliform bacteria มีค่าเฉลี่ย 6.4, 29 mg/L, 206.3 mg/L, 4.0 mg/L, 1.11 mg/L และ 101.9 MPN/100 mL ตามลำดับ

ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแต่ละชุดการทดลองสรุปดังตารางที่ 24 ดังนี้

**ตารางที่ 24** แสดงผลสรุปการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแต่ละชุดการทดลองที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

| ตัวอย่างน้ำ | ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $BOD_5$ | SS | TKN | TP | Fecal Coliform |
| ชุดที่ 1 | 82.3 | 79.7 | 42.0 | 68.3 | 84.0 |
| ชุดที่ 2 | 84.8 | 80.1 | 68.8 | 76.0 | 92.2 |
| ชุดที่ 3 | 77.6 | 85.6 | 33.4 | 72.0 | 84.8 |
| ชุดที่ 4 | 82.8 | 85.1 | 57.0 | 75.8 | 92.0 |

หมายเหตุ ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช) ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด
ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

2) จากการศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งทำการทดลองโดยใช้ระบบบ่อร่วมกับพืชลอยน้ำ ทำการทดลอง 4 ชุดการทดลอง โดยเลือกใช้ค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่เหมาะสมกับระบบบ่อ คือ 0.2 $m^3/m^2.d$ ซึ่งสามารถรองรับปริมาณน้ำเสียสูงสุดของเทศบาลนครหาดใหญ่ที่ได้ทำการออกแบบไว้ โดยมีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด 60 ลิตร/วัน และระยะเวลาเก็บกัก 2.4 วัน พบว่า พืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ผักบุ้ง, ผักกระเฉด และ ผักตบชวา มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ใกล้เคียงกัน แต่ประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมจะต่ำกว่าที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$ เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากค่าตัวแปรที่ผ่านการบำบัดแล้ว พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แสดงว่าพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิดนี้ สามารถเลือกพืชชนิดใดก็ได้มาใช้บำบัดน้ำเสียก็ได้ แต่ถ้าจะให้ประหยัดค่าใช้จ่าย และลดภาระในการดูแลรักษาพืช ควรเลือกพืชที่มีความคงทนและดูแลรักษาง่าย ซึ่งก็คือผักบุ้งและผักตบชวา แต่ผักบุ้งเป็นพืชที่ปลูกให้กระจายครอบคลุมพื้นที่ผิวน้ำได้ยากกว่าผักตบชวา แต่ในทางปฏิบัติไม่ควรปล่อยให้ผักตบชวาปกคลุมพื้นที่ผิวน้ำแน่นเกินไป เนื่องจากจะทำให้แสงไม่สามารถผ่านลงสู่น้ำเสียได้ ดังนั้นหากใช้ระบบบ่อร่วมกับพืชลอยน้ำ ควรเลือกใช้ผักตบชวา

**5.2 ข้อเสนอแนะ**

1) ควรจัดวางชุดการทดลองให้ได้รับแสงแดดมากๆ เนื่องจากพืชที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นพืชที่ต้องการแสงแดด

2) ดินที่นำมาใส่ในชุดการทดลอง ควรเป็นหน้าดินบริเวณในบ่อ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีสภาพเป็นกรด

3) ควรมีการศึกษาในพื้นที่บำบัดน้ำเสียจริงร่วมด้วย เพื่อให้ผลที่ได้มีความชัดเจน และถูกต้องมากขึ้น

# เอกสารอ้างอิง


ชูศักดิ์ แสงธรรม. 2530. คลองผักกระเฉดยาวสุดสายตาที่บ้านหนองดินแดง. วารสารฐานเกษตรกรรม. 5 (50).

_____. 2540. โครงการออกแบบรวมก่อสร้างระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียรวม. เทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.

วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์. 2532. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำกับสารอาหารในบึงมักกะสัน. กรุงเทพฯ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สนธิ คชวัฒน์. 2530. ประสิทธิภาพของผักตบชวาในทางกำจัดโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์, อุดมผล พืชน์ไพบูลย์, เจิดจรรย์ ศิริวงศ์ และพนาลี ชีวกิดาการ. 2541. น้ำเสีย : การควบคุมและบำบัด. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุชาดา เพ็ญศรี. 2530. พรรณไม้น้ำ. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อภิชัย เชียร์ศิริกุล. 2533. การบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยด้วยบ่อผักตบชวา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สภาวะแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

APHA, AWWA and WEF. 1995. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition, Washington D.C., USA.

Bagnall, L.O. , Furman, T.D.S. and Hentges, J.F. 1974. Feed and Fiber from Effluent Growth Water Hyacinth. U.S. Environmental Protection Agency.

Cornwell, D.A., Zoltele, I. And Patrinely, C.D. 1977. Nutrient Removal by Water Hyacinths. WPCF J. 49(1).

Dinges, R. 1978. Upgrading Stabilization Pond Effective by Water Hyacinth Culture. Jour Water Poll. Control Fed. 833-845 p.

Dinges, R. 1979. Development of Hyacinth Wastewater Treatment System in Texas. Seminar on Aquaculture System for Wastewater Treatment, University of California, Davis, California.

Gupta, G.C. 1980. Use of Water Hyacinths in Wastewater Treatment. Environ. Health. 43 (2).

Hauser, J.R. 1984. Use of Water Hyacinth Aquatic Treatment Systems for Ammonia Control and Effluent Polishing. Jour Water Poll. Control Fed. 80-82 p.

Lee, C. and T. Mckim. 1981. Water Hyacinth Wastewater Treatment System. Symphosium papers, Energy from Biomass and Waste V. Florida, 26-30 p.

Mcdonald, R.C. and B.C. Wolverton. Comparative Study of Wastewater Lagoon with and without Water Hyacinth. 101-110 p.

Orth, H.M. , Lertpocasombut, K. and Wilderer, Peter A. 1987. Wastewater Treatment for Industrial Estates in Southeast Asia Using Water Hyacinths. Wat. Sci. Tech. Vol. 19, Great Britain.

Orth, H.M. and D.P. Saplota. 1988. Upgrading a Facultative Pond by Implanting Water Hyacinth Water Research. 22, 1503-1510 p.

Reddy, K.R. and J.C. Tucker. 1983. Productivity and Nutrient Uptake of Water Hyacinth, Eichhornia Cressipest Effect of Nitrogen source. Economic Botany, 37(2), 273-274 p.

Sherwood C. Reed, E. Joe Middlebrooks and Ronald W. Crites. 1988. Natural Systems for Waste Management and Treatment. McGraw-Hill. USA.

Tridech, S. et. al. 1989. Tertiary Wastewater Treatment by the Application of Vascular Aquatic Plants Chemistry in Water Reuse. 521-583 p.

Wolverton, B.C. 1979. Engineering Design Data for Small Vascular Aquatic Plant Wastewater Treatment System Aquaculture System for Wastewater Treatment. Seminar Proceeding and Engineering Assessment. Washington D.C., 117-191 p.

Wolverton, B.C. and R.C. Macdonald. 1979. Upgrading Facultative Wastewater Lagoons with Vascular Aquatic Plant. Jour Water Poll. Control Fed. 305-313 p.

Wolverton, B.C. and R.C. Macdonald. 1982. The Role of Vacular Aquatic Plants in Wastewater Treatment the Herbarist. Boston Massachusetts. The Herb Society of America. 48 p.

# ภาคผนวก ก

# ผลการวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆ

**ตารางผนวกที่ ก-1** แสดงผลการวิเคราะห์น้ำเสียเข้าสู่บ่อบึงประดิษฐ์ที่ 2 จากระบบบำบัดน้ำเสีย เทศบาลนครหาดใหญ่ สำหรับการทดลองที่ 1

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | pH | $BOD_5$ (mg/l) | SS (mg/l) | TKN (mg/l) | TP (mg/l) | Fecal Coliform (MPN/100ml) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 6.5 | 47.1 | 57.0 | 4.4 | 1.18 | 23 |
| 2 | 10 | 6.5 | 12.0 | 50.0 | 3.7 | 0.59 | 23 |
| 3 | 15 | 6.7 | 28.8 | 122.5 | 4.1 | 0.72 | 23 |
| 4 | 20 | 6.1 | 28.2 | 315.0 | 3.8 | 1.00 | 23 |
| 5 | 25 | 6.4 | 29.1 | 170.0 | - | 0.83 | 23 |
| 6 | 30 | 6.5 | 29.3 | 136.0 | - | 0.78 | 240 |
| 7 | 35 | 6.4 | 27.8 | 395.0 | - | 1.61 | 220 |
| 8 | 40 | 6.1 | 29.5 | 405.0 | - | 2.21 | 240 |
| | **เฉลี่ย** | **6.4** | **29.0** | **206.3** | **4.0** | **1.11** | **101.9** |

**หมายเหตุ** ผลการวิเคราะห์ TKN ทำการทดลอง 4 ครั้ง เนื่องจากเครื่องมือในการทดลองชำรุด

**ตารางผนวกที่ ก-2** แสดงค่า pH ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | pH | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | น้ำเข้า | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 6.5 | 6.0 | 5.6 | 5.7 | 5.5 |
| 2 | 10 | 6.5 | 6.4 | 5.4 | 5.4 | 5.7 |
| 3 | 15 | 6.7 | 4.2 | 5.8 | 5.7 | 5.7 |
| 4 | 20 | 6.1 | 4.1 | 4.6 | 5.3 | 4.8 |
| 5 | 25 | 6.4 | 4.3 | 4.2 | 5.9 | 4.1 |
| 6 | 30 | 6.5 | 4.1 | 3.7 | 5.4 | 4.1 |
| 7 | 35 | 6.4 | 3.7 | 3.9 | 5.7 | 3.9 |
| 8 | 40 | 6.1 | 3.4 | 4.1 | 6.0 | 4.7 |
| เฉลี่ย | | **6.4** | **4.5** | **4.7** | **5.6** | **4.8** |

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-3** แสดงค่า $BOD_5$ ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | $BOD_5$ (mg/L) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | น้ำเข้า | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 47.1 | 15.3 | 14.1 | 10.2 | 19.2 |
| 2 | 10 | 12.0 | 5.7 | 2.1 | 1.5 | 1.0 |
| 3 | 15 | 28.8 | 10.6 | 1.9 | 1.5 | 1.1 |
| 4 | 20 | 28.2 | 9.4 | 1.4 | 1.6 | 1.2 |
| 5 | 25 | 29.1 | 7.6 | 1.0 | 1.7 | 1.1 |
| 6 | 30 | 29.3 | 6.4 | 1.1 | 2.4 | 1.0 |
| 7 | 35 | 27.8 | 4.2 | 1.1 | 1.5 | 1.2 |
| 8 | 40 | 29.5 | 2.1 | 1.5 | 1.7 | 1.4 |
| **เฉลี่ย** | | **29.0** | **7.7** | **3.0** | **2.7** | **3.4** |

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-4** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด $BOD_5$ ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ $0.025\ m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | ประสิทธิภาพ (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 67.5 | 70.1 | 78.3 | 59.2 |
| 2 | 10 | 52.5 | 82.5 | 87.5 | 91.7 |
| 3 | 15 | 63.2 | 93.4 | 95.0 | 96.2 |
| 4 | 20 | 65.3 | 95.0 | 94.4 | 95.7 |
| 5 | 25 | 72.4 | 96.6 | 94.3 | 96.4 |
| 6 | 30 | 78.2 | 96.3 | 92.0 | 97.4 |
| 7 | 35 | 89.1 | 96.0 | 94.4 | 95.9 |
| 8 | 40 | 92.9 | 94.9 | 94.4 | 95.3 |

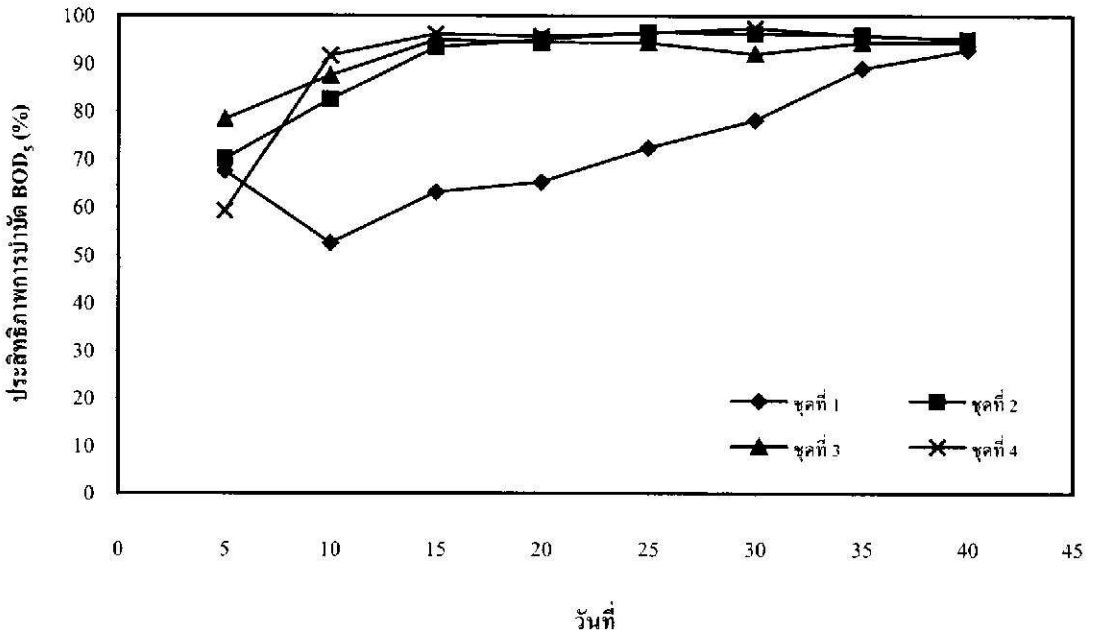
หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา




**ภาพผนวกที่ ก-1** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด $BOD_5$ ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-5** แสดงค่า SS ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | SS (mg/L) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | น้ำเข้า | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 57.0 | 9.2 | 10.5 | 3.4 | 6.7 |
| 2 | 10 | 50.0 | 23.8 | 12.5 | 5.0 | 7.1 |
| 3 | 15 | 122.5 | 8.2 | 8.6 | 4.7 | 6.6 |
| 4 | 20 | 315.0 | 5.7 | 6.3 | 3.4 | 5.3 |
| 5 | 25 | 170.0 | 4.8 | 6.5 | 3.4 | 4.8 |
| 6 | 30 | 136.0 | 4.5 | 6.6 | 3.4 | 8.6 |
| 7 | 35 | 395.0 | 4.2 | 4.1 | 3.1 | 4.1 |
| 8 | 40 | 405.0 | 7.5 | 6.7 | 3.4 | 5.7 |
| | **เฉลี่ย** | **206.3** | **8.5** | **7.7** | **3.7** | **6.1** |

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-6** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด SS ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | ประสิทธิภาพ (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 83.9 | 81.6 | 94.1 | 88.3 |
| 2 | 10 | 52.4 | 75.0 | 90.1 | 85.8 |
| 3 | 15 | 93.4 | 93.0 | 96.2 | 94.6 |
| 4 | 20 | 98.2 | 98.0 | 98.9 | 98.3 |
| 5 | 25 | 97.2 | 96.2 | 98.0 | 97.2 |
| 6 | 30 | 96.7 | 95.2 | 97.5 | 93.7 |
| 7 | 35 | 98.9 | 99.0 | 99.2 | 99.0 |
| 8 | 40 | 98.2 | 98.4 | 99.2 | 98.6 |

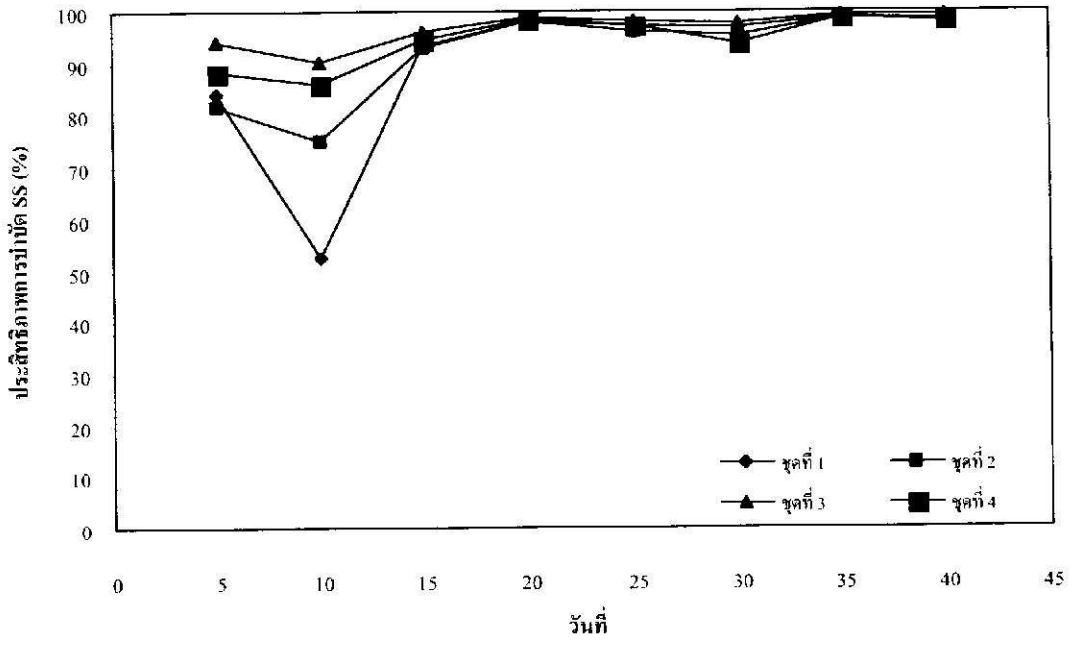
หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา




**ภาพผนวกที่ ก-2** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด SS ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-7** แสดงค่า TKN ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | TKN (mg/L) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | น้ำเข้า | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 4.4 | 3.9 | 1.9 | 1.8 | 1.8 |
| 2 | 10 | 3.7 | 3.6 | 1.6 | 1.5 | 1.6 |
| 3 | 15 | 4.1 | 3.9 | 1.5 | 1.4 | 1.4 |
| 4 | 20 | 3.8 | 3.6 | 2.8 | 2.7 | 1.3 |
| **เฉลี่ย** | | **4.0** | **3.8** | **2.0** | **1.8** | **1.5** |

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-8** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | ประสิทธิภาพ (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่4 |
| 1 | 5 | 3.0 | 52.7 | 55.2 | 54.9 |
| 2 | 10 | 3.3 | 55.9 | 60.0 | 57.8 |
| 3 | 15 | 3.5 | 62.1 | 65.5 | 65.5 |
| 4 | 20 | 3.7 | 25.9 | 29.6 | 66.7 |

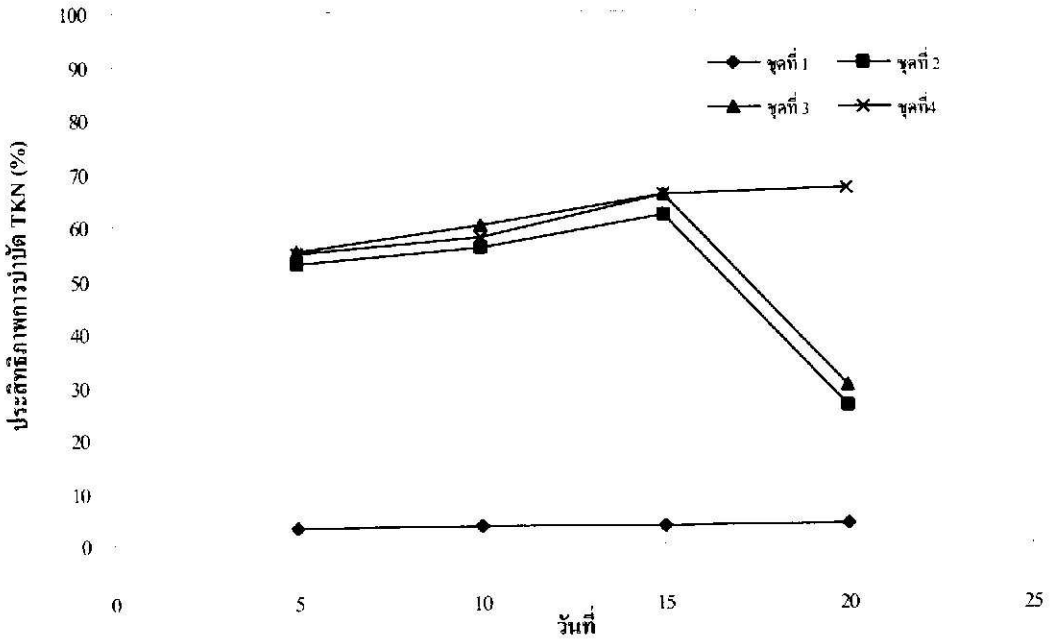
หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา




**ภาพผนวกที่ ก-3** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-9** แสดงค่า TP ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | TP (mg/L) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | น้ำเข้า | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 1.18 | 0.34 | 0.22 | 0.18 | 0.27 |
| 2 | 10 | 0.59 | 0.16 | 0.06 | 0.04 | 0.06 |
| 3 | 15 | 0.72 | 0.17 | 0.08 | 0.05 | 0.06 |
| 4 | 20 | 1.00 | 0.09 | 0.05 | 0.06 | 0.04 |
| 5 | 25 | 0.83 | 0.14 | 0.06 | 0.04 | 0.06 |
| 6 | 30 | 0.78 | 0.16 | 0.07 | 0.03 | 0.07 |
| 7 | 35 | 1.61 | 0.10 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| 8 | 40 | 2.21 | 0.11 | 0.10 | 0.08 | 0.03 |
| | **เฉลี่ย** | **1.11** | **0.16** | **0.09** | **0.06** | **0.08** |

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ
ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)
ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง
ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด
ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-10** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด TP ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | ประสิทธิภาพ (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 71.0 | 81.1 | 84.5 | 77.4 |
| 2 | 10 | 73.5 | 89.1 | 92.2 | 90.3 |
| 3 | 15 | 76.5 | 89.4 | 93.3 | 92.2 |
| 4 | 20 | 91.2 | 94.6 | 94.2 | 96.1 |
| 5 | 25 | 80.7 | 92.5 | 95.3 | 93.3 |
| 6 | 30 | 79.5 | 90.6 | 96.7 | 91.4 |
| 7 | 35 | 93.9 | 97.6 | 98.2 | 97.9 |
| 8 | 40 | 94.8 | 95.3 | 96.5 | 98.5 |

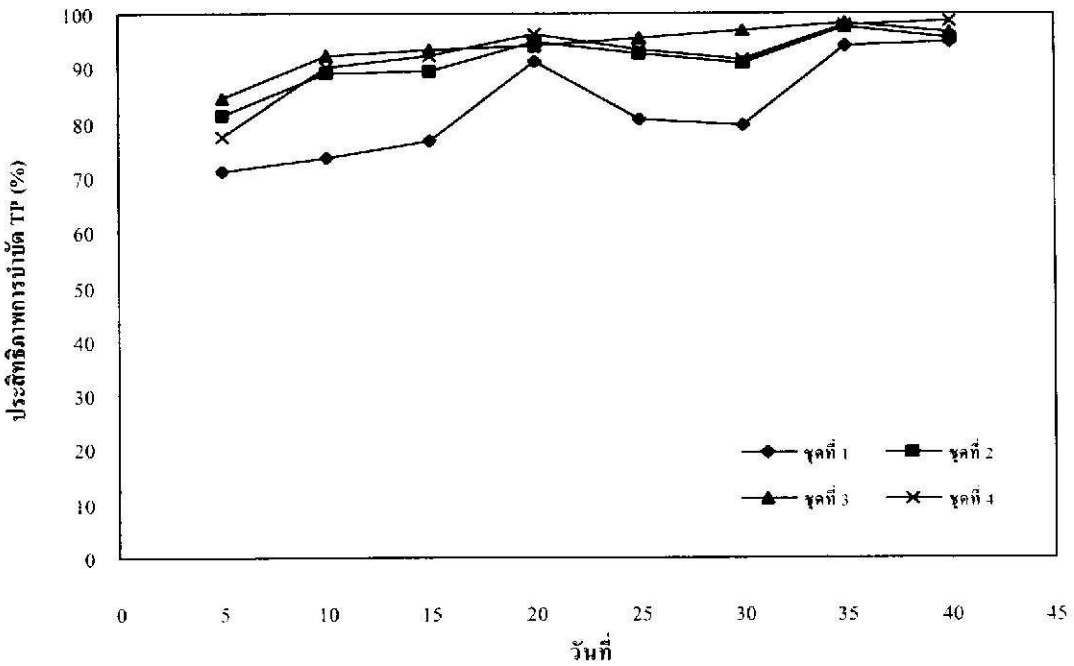
หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา




**ภาพผนวกที่ ก-4** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด TP ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-11** แสดงค่า Fecal Coliform ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | Fecal Coliform (MPN/100mL) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | น้ำเข้า | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 23 | 13 | 2 | 23 | 2 |
| 2 | 10 | 23 | 4 | 4 | 23 | 2 |
| 3 | 15 | 23 | 2 | 7 | 23 | 13 |
| 4 | 20 | 23 | 2 | 4 | 23 | 2 |
| 5 | 25 | 23 | 2 | 4 | 8 | 2 |
| 6 | 30 | 240 | 2 | 2 | 8 | 4 |
| 7 | 35 | 220 | 2 | 2 | 4 | 2 |
| 8 | 40 | 240 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | **เฉลี่ย** | **102** | **4** | **3** | **14** | **4** |

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ
ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)
ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง
ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด
ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักคบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-12** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด Fecal Coliform ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | ประสิทธิภาพ (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 43.5 | 91.3 | 53.2 | 91.3 |
| 2 | 10 | 82.6 | 82.6 | 64.5 | 91.3 |
| 3 | 15 | 91.3 | 69.6 | 68.9 | 43.5 |
| 4 | 20 | 91.3 | 82.6 | 63.2 | 91.3 |
| 5 | 25 | 91.3 | 82.6 | 65.2 | 91.3 |
| 6 | 30 | 99.2 | 99.2 | 96.6 | 98.3 |
| 7 | 35 | 99.1 | 99.1 | 98.2 | 99.1 |
| 8 | 40 | 99.2 | 99.2 | 99.2 | 99.2 |

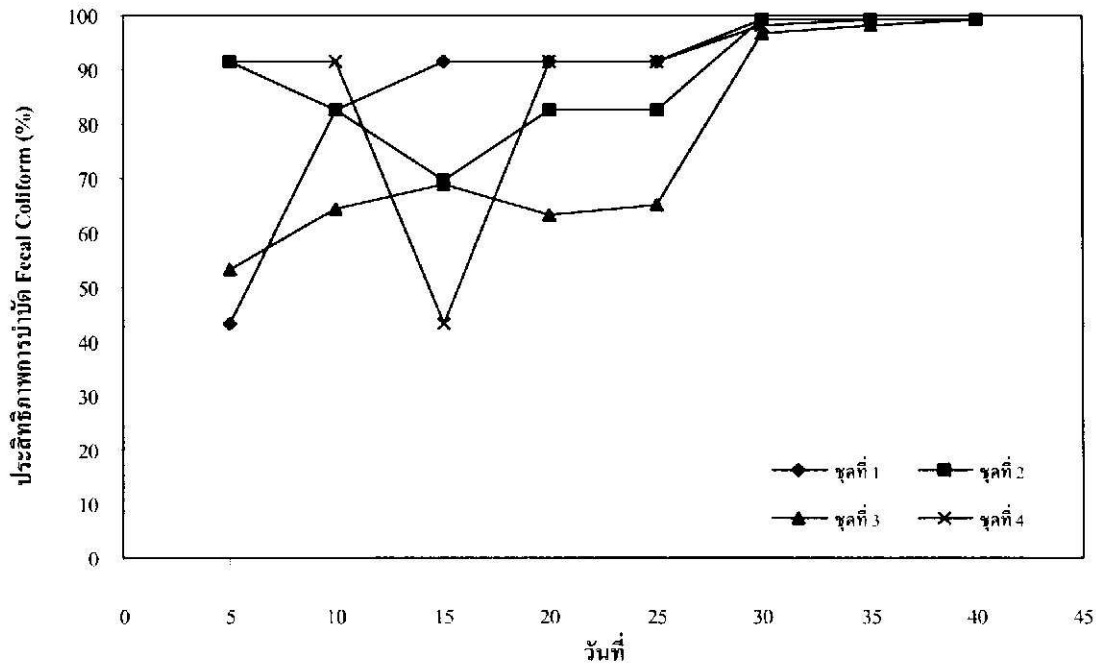
หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา




**ภาพผนวกที่ ก-5** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด Fecal Coliform ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.025 $m^3/m^2.d$

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-13** แสดงผลการวิเคราะห์น้ำเสียเข้าสู่บ่อบึงประดิษฐ์ที่ 2 จากระบบบำบัดน้ำเสีย เทศบาลนครหาดใหญ่ สำหรับการทดลองที่ 2

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | pH | $BOD_5$ (mg/l) | SS (mg/l) | TKN (mg/l) | TP (mg/l) | Fecal Coliform (MPN/100ml) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 7.1 | 6 | 138.0 | - | 0.66 | 900 |
| 2 | 10 | 7.5 | 21.6 | 319.7 | - | 0.68 | 70 |
| 3 | 15 | 7.5 | 25.6 | 135.0 | 7.2 | 0.70 | 90 |
| 4 | 20 | 7.5 | 25.6 | 132.5 | 7.6 | 0.75 | 70 |
| 5 | 25 | 6.6 | 27 | 132.8 | 6.7 | 0.58 | 240 |
| 6 | 30 | 7.6 | 21.6 | 73.0 | 3.9 | 0.79 | 240 |
| 7 | 35 | 6.5 | 16.8 | 82.0 | 2.8 | 0.66 | 280 |
| 8 | 40 | 6.6 | 13.2 | 113.0 | 3.6 | 0.64 | 240 |
| 9 | 45 | 6.6 | 27 | 115.0 | 3.2 | 0.69 | 280 |
| | **เฉลี่ย** | **7.1** | **20.5** | **137.9** | **5.0** | **0.68** | **268** |

**ตารางผนวกที่ ก-14** แสดงค่า pH ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | pH | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | น้ำเข้า | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 7.1 | 3.0 | 3.9 | 5.1 | 4.8 |
| 2 | 10 | 7.5 | 6.5 | 6.3 | 6.1 | 6.3 |
| 3 | 15 | 7.5 | 6.4 | 6.5 | 6.1 | 6.4 |
| 4 | 20 | 7.5 | 6.7 | 6.4 | 6.3 | 6.5 |
| 5 | 25 | 6.6 | 6.2 | 5.9 | 5.9 | 6.1 |
| 6 | 30 | 7.6 | 7.1 | 7.1 | 6.7 | 6.9 |
| 7 | 35 | 6.5 | 6.6 | 6.5 | 6.4 | 6.6 |
| 8 | 40 | 6.6 | 6.5 | 6.3 | 6.3 | 6.2 |
| 9 | 45 | 6.6 | 6.4 | 6.1 | 6.5 | 6.1 |

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-15** แสดงค่า $BOD_5$ ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | $BOD_5$ (mg/L) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | น้ำเข้า | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 6 | 1.3 | 0.7 | 1.25 | 0.95 |
| 2 | 10 | 21.6 | 3.1 | 3 | 2.5 | 2.2 |
| 3 | 15 | 25.6 | 5.1 | 4.1 | 5.2 | 4.8 |
| 4 | 20 | 25.6 | 5.1 | 4.1 | 5.2 | 4.8 |
| 5 | 25 | 27 | 4.25 | 4.7 | 5.6 | 4.0 |
| 6 | 30 | 21.6 | 3.2 | 2.75 | 6.8 | 5.2 |
| 7 | 35 | 16.8 | 3.1 | 2.75 | 5.85 | 3.3 |
| 8 | 40 | 13.2 | 2.55 | 2.05 | 2.9 | 2.4 |
| 9 | 45 | 27 | 4.25 | 4.7 | 5.6 | 4.0 |

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-16** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด $BOD_5$ ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | ประสิทธิภาพ (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 78.3 | 88.3 | 79.2 | 84.2 |
| 2 | 10 | 85.7 | 86.1 | 88.4 | 89.8 |
| 3 | 15 | 80.1 | 84.0 | 79.9 | 81.3 |
| 4 | 20 | 80.1 | 84.0 | 79.9 | 81.3 |
| 5 | 25 | 84.3 | 82.6 | 79.3 | 85.2 |
| 6 | 30 | 85.2 | 87.3 | 68.8 | 76.2 |
| 7 | 35 | 81.9 | 83.6 | 65.2 | 80.7 |
| 8 | 40 | 80.7 | 84.5 | 78.4 | 81.8 |
| 9 | 45 | 84.3 | 82.6 | 79.3 | 85.2 |

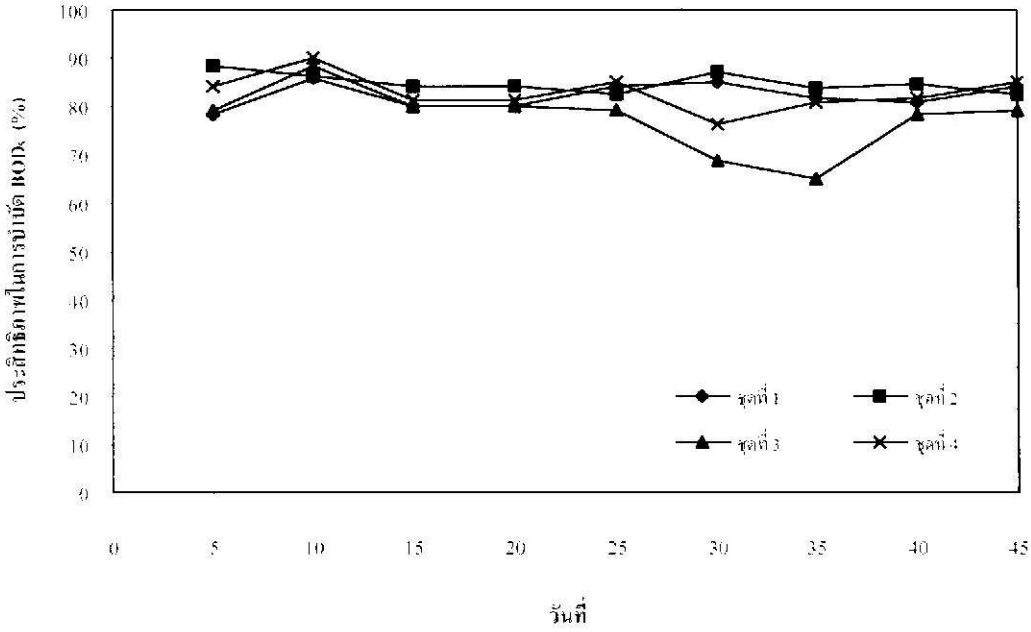
หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา




**<u>ภาพผนวกที่ ก-6</u>** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด $BOD_5$ ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-17** แสดงค่า SS ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | SS (mg/l) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | น้ำเข้า | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 138.0 | 6.5 | 8.1 | 5.7 | 8.6 |
| 2 | 10 | 319.7 | 17.6 | 24.3 | 14.8 | 14.9 |
| 3 | 15 | 135.0 | 16.5 | 19.2 | 7.3 | 10.7 |
| 4 | 20 | 132.5 | 23.3 | 28.0 | 10.3 | 12.0 |
| 5 | 25 | 132.8 | 35.3 | 40.7 | 13.0 | 18.0 |
| 6 | 30 | 73.0 | 21.0 | 21.8 | 19.4 | 13.0 |
| 7 | 35 | 82.0 | 25.5 | 26.0 | 27.3 | 22.8 |
| 8 | 40 | 113.0 | 31.8 | 19.6 | 20.0 | 27.3 |
| 9 | 45 | 115.0 | 32.6 | 24.2 | 23.7 | 26.8 |

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักปุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-18** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด SS ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | ประสิทธิภาพ (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 95.3 | 94.1 | 95.9 | 93.8 |
| 2 | 10 | 94.5 | 92.4 | 95.4 | 95.3 |
| 3 | 15 | 87.8 | 85.8 | 94.6 | 92.1 |
| 4 | 20 | 82.4 | 78.9 | 92.2 | 90.9 |
| 5 | 25 | 73.4 | 69.4 | 90.2 | 86.5 |
| 6 | 30 | 71.2 | 70.2 | 73.5 | 82.2 |
| 7 | 35 | 68.9 | 68.3 | 66.7 | 72.3 |
| 8 | 40 | 71.9 | 82.7 | 82.3 | 75.9 |
| 9 | 45 | 71.65 | 78.95 | 79.39 | 76.69 |

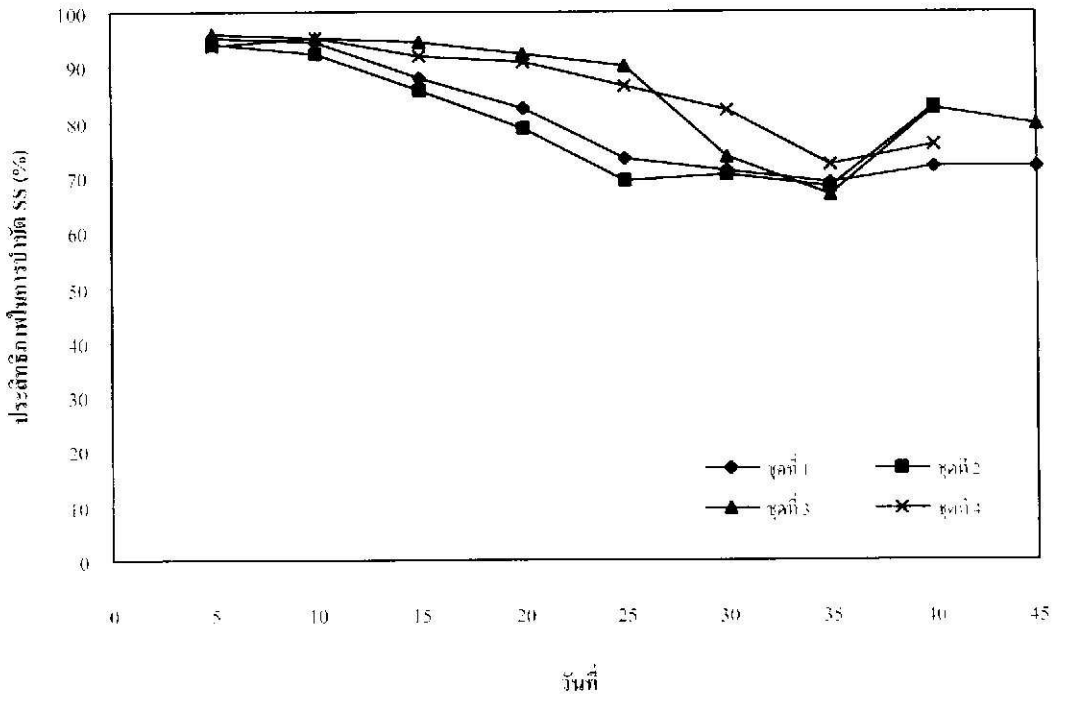
หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา




**<u>ภาพผนวกที่ ก-7</u>** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด SS ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-19** แสดงค่า TKN ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | TKN (mg/L) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | น้ำเข้า | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | - | - | - | - | - |
| 2 | 10 | - | - | - | - | - |
| 3 | 15 | 7.2 | 4.2 | 3.8 | 5.2 | 3.7 |
| 4 | 20 | 7.6 | 4.2 | 3.9 | 5.3 | 3.6 |
| 5 | 25 | 6.7 | 3.9 | 3.2 | 4.9 | 3.4 |
| 6 | 30 | 3.9 | 2.2 | 0.6 | 2.8 | 2.2 |
| 7 | 35 | 2.8 | 1.7 | 0.6 | 2.2 | 0.6 |
| 8 | 40 | 3.6 | 2.1 | 0.6 | 2.0 | 0.7 |
| 9 | 45 | 3.2 | 1.9 | 0.6 | 2.1 | 0.6 |

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-20** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | ประสิทธิภาพ (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่4 |
| 1 | 5 | - | - | - | - |
| 2 | 10 | - | - | - | - |
| 3 | 15 | 41.7 | 46.5 | 26.3 | 4.9 |
| 4 | 20 | 44.4 | 48.1 | 29.6 | 51.8 |
| 5 | 25 | 42.3 | 52.1 | 27.2 | 50.0 |
| 6 | 30 | 43.0 | 85.7 | 28.6 | 52.1 |
| 7 | 35 | 40.0 | 85.7 | 43.0 | 77.4 |
| 8 | 40 | 42.0 | 82.3 | 45.0 | 81.9 |
| 9 | 45 | 40.6 | 81.3 | 34.4 | 80.9 |

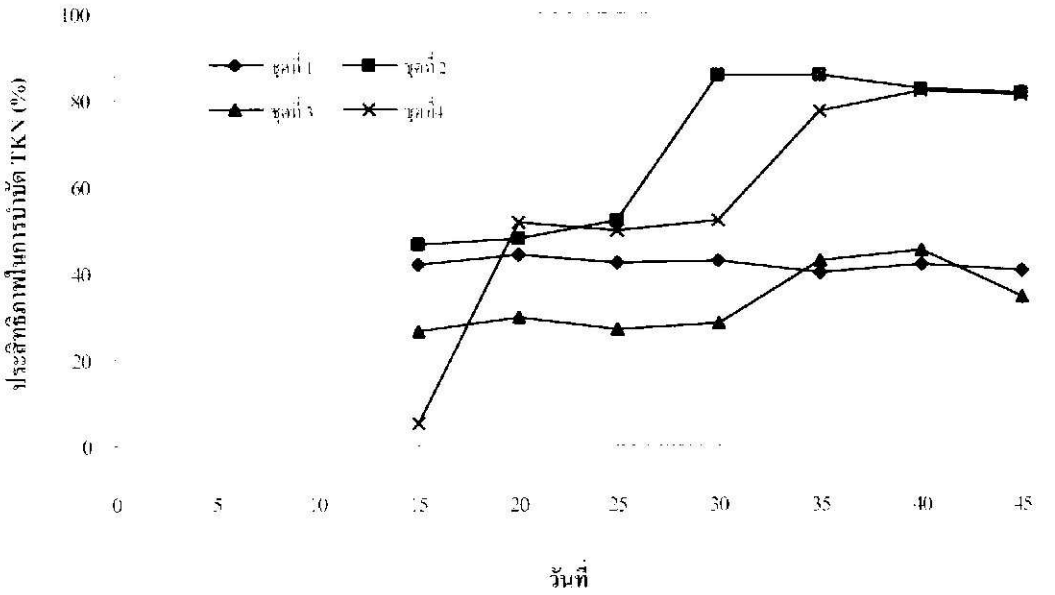
หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา




**<u>ภาพผนวกที่ ก-8</u>** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-21** แสดงค่า TP ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | TP (mg/L) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | น้ำเข้า | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 0.66 | 0.11 | 0.07 | 0.08 | 0.07 |
| 2 | 10 | 0.68 | 0.24 | 0.22 | 0.22 | 0.21 |
| 3 | 15 | 0.70 | 0.27 | 0.21 | 0.20 | 0.20 |
| 4 | 20 | 0.75 | 0.28 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| 5 | 25 | 0.58 | 0.23 | 0.17 | 0.17 | 0.18 |
| 6 | 30 | 0.79 | 0.25 | 0.18 | 0.24 | 0.19 |
| 7 | 35 | 0.662 | 0.18 | 0.16 | 0.18 | 0.15 |
| 8 | 40 | 0.64 | 0.18 | 0.14 | 0.18 | 0.15 |
| 9 | 45 | 0.69 | 0.21 | 0.14 | 0.2 | 0.14 |

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-22** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด TP ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | ประสิทธิภาพ (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 83.3 | 89.4 | 87.9 | 89.4 |
| 2 | 10 | 64.7 | 67.6 | 67.6 | 69.1 |
| 3 | 15 | 61.4 | 70.0 | 71.4 | 71.4 |
| 4 | 20 | 62.7 | 73.3 | 73.3 | 73.3 |
| 5 | 25 | 60.4 | 71.9 | 70.2 | 69.0 |
| 6 | 30 | 68.4 | 77.6 | 69.3 | 75.8 |
| 7 | 35 | 72.5 | 75.2 | 73.4 | 76.9 |
| 8 | 40 | 71.6 | 78.9 | 72.6 | 77.2 |
| 9 | 45 | 69.5 | 79.7 | 70.1 | 79.7 |

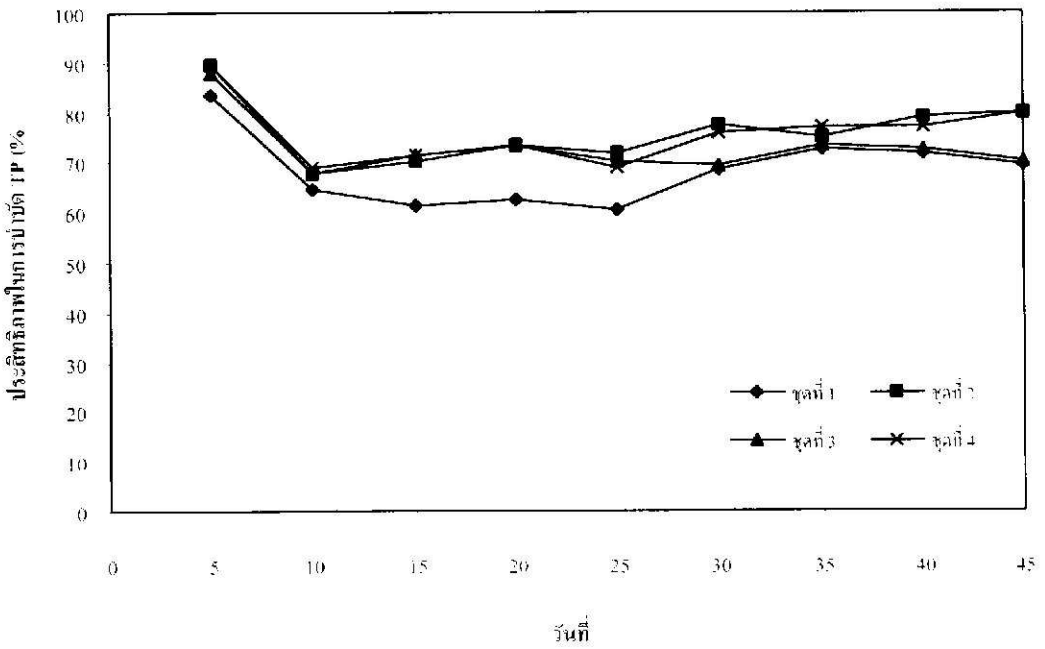
หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา




**<u>ภาพผนวกที่ ก-9</u>** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด TP ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-23** แสดงค่า Fecal Coliform ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | Fecal Coliform (MPN/100 mL) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | น้ำเข้า | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 900 | 9 | 30 | 130 | 70 |
| 2 | 10 | 70 | 4 | 17 | 8 | 2 |
| 3 | 15 | 90 | 11 | 16 | 15 | 4 |
| 4 | 20 | 70 | 17 | 7 | 11 | 4 |
| 5 | 25 | 240 | 50 | 6 | 50 | 17 |
| 6 | 30 | 240 | 50 | 11 | 40 | 15 |
| 7 | 35 | 280 | 63 | 10 | 40 | 15 |
| 8 | 40 | 240 | 46 | 4 | 30 | 14 |
| 9 | 45 | 280 | 50 | 4 | 40 | 13 |

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักปุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

**ตารางผนวกที่ ก-24** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด Fecal Coliform ของน้ำตัวอย่างที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

| ครั้งที่ | วันที่เก็บตัวอย่าง (วัน) | ประสิทธิภาพ (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| 1 | 5 | 99.0 | 96.7 | 85.5 | 70.0 |
| 2 | 10 | 94.3 | 75.1 | 88.6 | 97.1 |
| 3 | 15 | 87.7 | 82.1 | 83.5 | 95.3 |
| 4 | 20 | 75.7 | 90.0 | 84.3 | 94.3 |
| 5 | 25 | 79.2 | 97.5 | 79.2 | 92.9 |
| 6 | 30 | 79.2 | 95.3 | 83.3 | 93.7 |
| 7 | 35 | 77.5 | 96.4 | 85.7 | 94.6 |
| 8 | 40 | 80.9 | 98.3 | 87.5 | 94.8 |
| 9 | 45 | 82.1 | 98.5 | 85.7 | 95.4 |

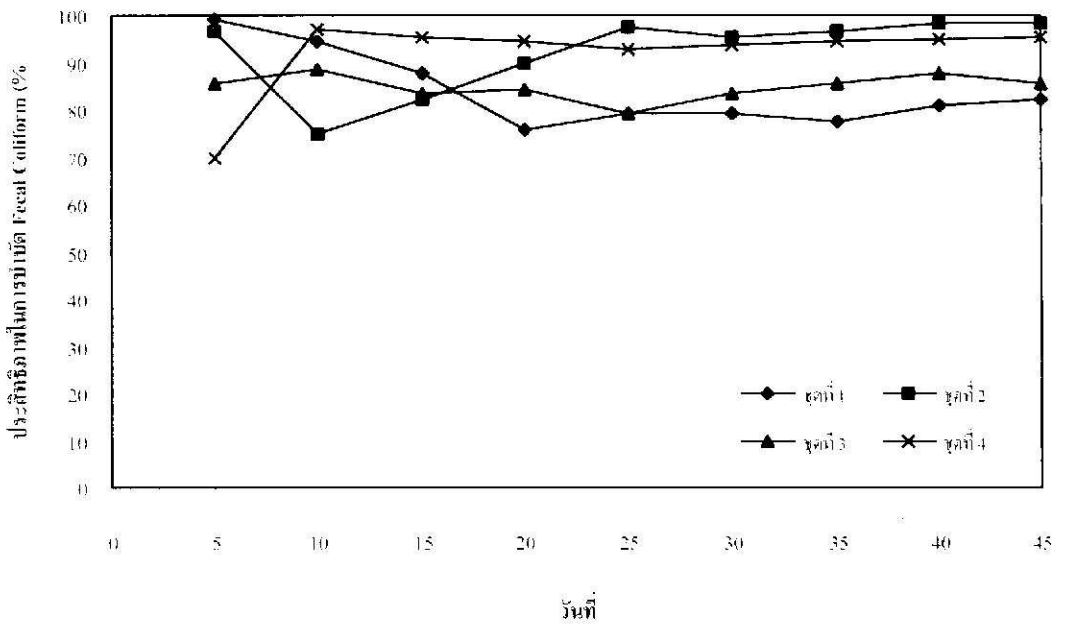
หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา




**<u>ภาพผนวกที่ ก-10</u>** แสดงประสิทธิภาพในการบำบัด Fecal Coliform ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.2 $m^3/m^2.d$

หมายเหตุ น้ำเข้า คือ น้ำเสียเข้าระบบ

ชุดที่ 1 คือ บำบัดโดยถังควบคุม (บำบัดโดยไม่ใช้พืช)

ชุดที่ 2 คือ บำบัดโดยผักบุ้ง

ชุดที่ 3 คือ บำบัดโดยผักกระเฉด

ชุดที่ 4 คือ บำบัดโดยผักตบชวา

# ภาคผนวก ข

# วิธีการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรต่าง ๆ

# วิธีการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรต่าง ๆ

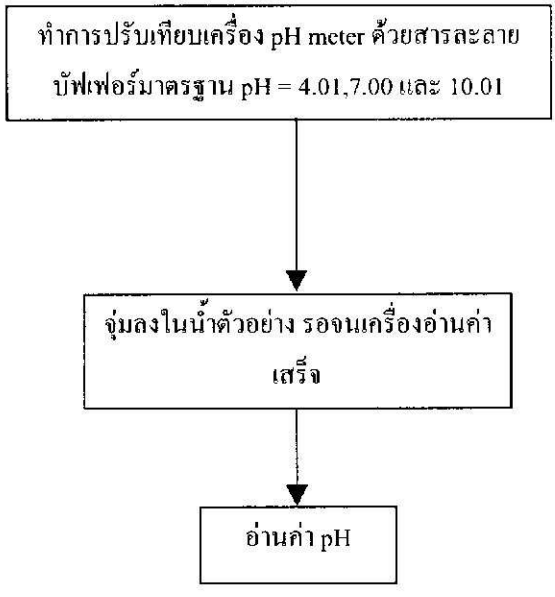
## 1. ความเป็นกรด - ด่าง ( pH )

เป็นการวัดปริมาณไฮโดรเจนไอออน $[H^+]$ ในน้ำและสามารถใช้บอกถึงสภาพความเป็นกรดหรือด่างของน้ำได้อย่างคร่าวๆ pH มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 14 แต่ไม่มีหน่วย น้ำที่มีสภาพเป็นกลางจะมีค่า pH เท่ากับ 7 และแสดงว่ามีกรดและด่างอยู่ในปริมาณที่สมดุลย์กัน ถ้า pH น้อยกว่า 7 ความเป็นกรดจะเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันเมื่อ pH มากกว่า 7 ความเป็นด่างจะเพิ่มขึ้น

การวัดค่าพีเอชของน้ำโดยใช้ pH meter ได้โดยใช้ glass electrode ซึ่งมีความสามารถในการวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน $[H^+]$ การอ่านพีเอชจาก pH meter สามารถอ่านเป็นค่า pH โดยตรง ซึ่งการวัด pH ของค่าตัวอย่างน้ำทุกครั้งต้องใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน (standardize) เครื่องก่อนเสมอ สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า pH เป็นปริมาณไฮโดรเจนอิออน $[H^+]$ ทำได้โดยใช้สมการดังนี้

$$pH = -\log[H^+]$$

**ขั้นตอนการวิเคราะห์ pH**



**2. ของแข็งแขวนลอย (Suspendeded Solid : SS)**

ใช้สำหรับบอกถึงของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ และเป็นตัวกำหนดอัตราบรรทุกของเครื่องมือบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนที่สองของขบวนการบำบัดน้ำเสีย

ของแข็งแขวนลอย หมายถึง ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำและสามารถกรองได้ด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (Whatman GF/C) บางครั้งเรียกของแข็งประเภทนี้ว่า nonfilterable solids มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

*ขั้นตอนการวิเคราะห์*

1. อบกระดาษกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องเดซิเคเตอร์ ชั่งหาน้ำหนัก
2. เลือกปริมาณตัวอย่างน้ำที่จะได้ปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่น้อยกว่า 2.5 มิลลิกรัม
3. วางกระดาษลงในกรวยบุคเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ
4. ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกเพื่อให้ติดแน่นกับกรวยบุคเนอร์
5. กรองน้ำตัวอย่างโดยอาศัยแรงดูดจากเครื่องดูดอากาศ
6. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่ติดอยู่ข้างกรวยจนหมด
7. ปิดเครื่องดูดอากาศใช้ปากคีบคีบกระดาษกรองใส่ภาชนะทนไฟเช่นจานเพาะเชื้อกระจกนาฬิกา หรือถ้วยอลูมิเนียม นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ในตู้อบประมาณ 1 ชั่วโมง
8. ทิ้งให้เย็นลงจนเท่ากับอุณหภูมิห้อง ในเดซิเคเตอร์ ชั่งหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

*การคำนวณ*

ของแข็งแขวนลอย (mg/l) = [(B-A)x1000] / ปริมาณน้ำตัวอย่าง (ml)

โดยที่ A = น้ำหนักกระดาษกรองก่อนการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

B = น้ำหนักกระดาษกรองหลังการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

**3. Biological Oxygen Demand ($BOD_5$)**

เป็นค่าที่แสดงปริมาณความสกปรกของน้ำในรูปปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ ในช่วงระยะเวลาและอุณหภูมิที่กำหนด ซึ่งโดยทั่วไปใช้เวลา 5 วันและอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

*สารเคมี*

1. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer solution) : ละลาย $KH_2PO_4$ 8.5 กรัม $K_2HPO_4$ 21.75 กรัม $Na_2HPO_4.7H_2O$ 33.4 กรัม และ $NH_4Cl$ 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะมีค่า pH เท่ากับ 7.2
2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (Magnesium sulfate solution) : ละลาย $MgSO_4.7H_2O$ 22.5 กรัมในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร
3. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride solution) : ละลาย anhydrous $CaCl_2$ 27.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร
4. สารละลายเฟอร์ริคคลอไรด์ : ชั่ง $FeCl_3.6H_2O$ 0.25 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร
5. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต (Manganese sulfate solution) : ละลาย $MnSO_4.4H_2O$ 480 กรัม ($MnSO_4.2H_2O$ 400 กรัม หรือ $MnSO_4.H_2O$ 364 กรัม) ในน้ำกลั่น กรองแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะต้องไม่เกิดสีกับน้ำแป้ง ภายหลังเติมสารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide solution) ในสภาพที่เป็นกรด
6. สารละลาย อัลคาไลด์-ไอโอไดด์-เอไซด์ (Alkali - iodide - azide reagent) : เตรียมได้โดยละลาย NaOH 500 กรัม หรือ KOH 700 กรัมและ NaI 135 กรัมหรือ KI 150 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร เติม $NaN_3$ 10 กรัม ( ซึ่งเตรียมไว้ก่อนโดยละลายในน้ำกลั่นจำนวน 40 มิลลิลิตร ) ลงในสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้น สารละลายนี้ไม่ควรเกิดสีกับน้ำแป้งเมื่อทำเป็นกรดหรือทำให้เจือจาง
7. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 N : $Na_2S_2O_3.5H_2O$ 6.025 กรัม ละลายในน้ำกลั่นเติม NaOH 0.4 กรัม หรือ NaOH 6N 1.5 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรรวมเท่ากับ 1 ลิตร ทำการ standardize สารละลายนี้ด้วยสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไบโอเดต

8. conc.$H_2SO_4$
9. น้ำแป้งอินดิเคเตอร์ : ละลายแป้งมัน 5 กรัม ในน้ำเย็นเล็กน้อย เทลงในน้ำที่กำลังเดือด 1 ลิตร คนและตั้งไว้ค้างคืน รินเอาเฉพาะน้ำใส ๆ ข้างบน เก็บโดยการเติมกรดซาลิซิลลิค (salicylic acid) 1.25 กรัมต่อน้ำแป้ง 1 ลิตร
10. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไบโอเดต 0.025 N : ชั่ง $KH(IO_3)_2$ 812.4 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรรวม 1 ลิตร เก็บในขวดแก้วมีฝาปิด การ standardize สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 N สามารถทำได้โดยตวงน้ำกลั่น 100-500 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติม KI 2 กรัม conc.$H_2SO_4$ 2-3 หยด และสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 N ปริมาตร 20 มิลลิลิตรลงไป เติมน้ำกลั่นลงไปอีกจนได้ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ไทเทรตไอโอดีนที่ถูกขับออกมาด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 N ที่เตรียมไว้ จนกระทั่งใกล้ถึงจุดยุติ สังเกตจากสีของสารละลายจางลง เติมน้ำแป้งลงไป 1 มิลลิลิตร ไทไทรตต่อจนถึงจุดยุติ ถ้าสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตที่เตรียมไว้มีความเข้มข้น 0.025N พอดีปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตจะเท่ากับ 20 มิลลิลิตร ถ้าไม่ได้ให้ปรับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตให้เท่ากับ 0.025 N พอดี เพื่อความสะดวกในการคำนวณต่อไป

*ขั้นตอนการวิเคราะห์*

*<u>วิธีการวิเคราะห์โดยตรง</u>

1. เติมออกซิเจนลงไปในน้ำโดยการพ่นอากาศลงไปให้อิ่มตัว
2. รินน้ำตัวอย่างลงในขวดสำหรับหาค่าบีโอดีจนเต็ม 3 ขวด ปิดจุก ให้แน่ใจว่ามีน้ำหล่อที่ปากขวด นำขวดที่หนึ่งมาหาออกซิเจนละลายก่อน อีกสองขวดนำไปไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (incubator) ที่ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน
3. หลังจาก 5 วัน นำขวดบีโอดีอีก 2 ขวด หาค่าออกซิเจนละลายที่เหลืออยู่

*<u>วิธีทำให้เจือจาง</u>

1. การเตรียมน้ำผสมเจือจาง (dilution water) ทำได้โดย
   - นำน้ำกลั่นมาปรับอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 20 ± 1 องศาเซลเซียส

- ปรับคุณภาพให้เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ โดยเติมสารละลายต่อไปนี้อย่างละ 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร

1) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์
2) สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต
3) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์
4) สารละลายเฟอร์ริคคลอไรด์

และเติมอากาศให้ออกซิเจนละลายอิ่มตัว

2. การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (seed) เพื่อให้ได้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดี จำเป็นจะต้องเลือกหัวเชื้อที่เหมาะสมกับตัวอย่างน้ำแต่ละชนิด โดยทั่วไปใช้น้ำจากส้วมหรือน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย (effluent) ที่ไม่ได้ฆ่าเชื้อมาก่อนเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์

เนื่องจากการวิเคราะห์ค่าบีโอดีอาศัยปฏิกิริยาทางชีวเคมี โดยมีจุลินทรีย์เป็นตัวกลางในการย่อยสลาย สภาวะแวดล้อมจะมีผลต่อการวิเคราะห์ ทำให้ค่าบีโอดีที่ได้มีความแปรผันสูง การวิเคราะห์ตัวอย่างหนึ่งๆ จึงมักจะทำการผสมเจือจางหลายๆ ความเข้มข้น ส่วนอัตราส่วนในการเจือจาง อาจประมาณจากชนิดอย่างหรือตามความเข้มข้น โดยประมาณตามตารางที่ จ-1

3. การปรับค่าการเติมหัวเชื้อ (seed correction) ถ้ามีการเติมหัวเชื้อในน้ำตัวอย่าง จะต้องทำหัวเชื้อให้เจือจางแล้วนำไปไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ เช่นเดียวกับการหาค่าบีโอดีในตัวอย่างน้ำ หลังจากนั้นทำการคำนวณหาค่าการใช้ปริมาณออกซิเจนละลายในระยะเวลา 5 วัน ในการคำนวณหาค่าบีโอดีต้องทำการแก้ค่าเนื่องจากการเติมหัวเชื้อด้วย

*วิธีการหาค่าออกซิเจนละลาย (Dissoved Oxygen ; DO)*

1. ตวงน้ำตัวอย่างปริมาตรที่ต้องการตามช่วงค่าบีโอดีในตารางที่ 1 เทในขวดสำหรับหาค่าบีโอดีขนาด 300 มิลลิลิตร
2. เติม Dilution water จนถึงคอขวดและเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 มิลลิลิตร
3. เติม Alkali-iodide-azide reagent 2 มิลลิลิตร ปิดฝาอย่าให้เกิดฟองอากาศ เขย่าให้เข้ากัน
4. รอให้เกิดตะกอนของ $Mn(OH)_2$ เติม conc.$H_2SO_4$ 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
5. ดูดตัวอย่างจากขวดบีโอดี 203 มิลลิลิตร ทิเทรตด้วย 0.025N $Na_2S_2O_3$ โดยมีน้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ จนมีสีของสารละลายกลายเป็นสีเหลืองอ่อน
6. ทิเทรตต่อด้วย 0.025N $Na_2S_2O_3$ จนสีน้ำเงินหายไป

การคำนวณ

1. ออกซิเจนละลาย (DO)

1 mL 0.025N $Na_2S_2O_3$ = 1 mL/L DO (ในน้ำตัวอย่าง 200 mL)

2. $BOD_5$ (เมื่อไม่เติมหัวเชื้อ)

$BOD_5$ (mg/L) = $(D_1-D_2)/P$

3. $BOD_5$ (เมื่อเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์)

$BOD_5$ (mg/L) = $[(D_1-D_2)-(B_1-B_2)f]/P$

โดยที่

$D_1$ = ค่าออกซิเจนละลายในวันแรก (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$D_2$ = ค่าออกซิเจนละลายวันที่ 5 (มิลลิกรัมต่อลิตร)

P = อัตราส่วนของการเจือจางตัวอย่างน้ำ

$B_1$ = ค่าออกซิเจนละลายในวันแรกของหัวเชื้อจุลินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$B_2$ = ค่าออกซิเจนละลายในวันที่ 5 ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

f = อัตราส่วนของปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำต่อปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างที่เตรียมไว้สำหรับการแก้ค่าเนื่องจากการเติมหัวเชื้อ

**ตารางผนวกที่ ข-1** แสดงช่วงค่าบีโอดีและวิธีการเจือจางตัวอย่างน้ำ

| Using percent mixtures | | By direct pipetting into 300 mL bottle | |
|---|---|---|---|
| % Mixture | Range of $BOD_5$ | Sample Volume (mL) | Range of $BOD_5$ |
| 0.01 | 20,000-70,000 | 0.02 | 30,000-105,000 |
| 0.02 | 10,000-35,000 | 0.05 | 12,000-42,000 |
| 0.05 | 4,000-14,000 | 0.10 | 6,000-21,000 |
| 0.1 | 2,000-7,000 | 0.20 | 3,000-10,500 |
| 0.2 | 1,000-3,500 | 0.50 | 1,200-4,200 |
| 0.5 | 400-1,400 | 1.0 | 600-2,100 |
| 1.0 | 200-700 | 2.0 | 300-1,050 |
| 2.0 | 100-350 | 5.0 | 100-420 |
| 5.0 | 40-140 | 10.0 | 60-120 |
| 10.0 | 20-70 | 20.0 | 30-150 |
| 20.0 | 10 35 | 50.0 | 12 42 |
| 50.0 | 4 14 | 100.0 | 6 21 |
| 100.0 | 0--7 | 300.0 | 0-7 |

**ที่มา :** (Sawyer, C.N. and P.L.,McCarty , 1978)

**4. Total Kjeldahl Nitrogen ( TKN)**

เป็นค่าที่แสดงปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ทั้งหมดที่อยู่ในน้ำ ซึ่งหมายถึงปริมาณ organic nitrogen และ ammonia nitrogen รวมกัน

*สารเคมี*

1. Mercuric sulfate solution : HgO 5 กรัม+100 มิลลิลิตร 6 N $H_2SO_4$
2. Digestion Reagent : ชั่ง $K_2SO_4$ 134 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 650 มิลลิลิตร+200 มิลลิลิตร conc. $H_2SO_4$ + 25 มิลลิลิตร Mercuric sulfate solution เจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตรด้วย

น้ำกลั่น

3. Sodium hydroxide – Sodium thiosulfate solution regent : ชั่ง NaOH 500 กรัม+ $Na_2S_2O_3.5H_2O$ 25 กรัม ละลายในน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร
4. Borate buffer solution : NaOH 0.1 N 88 มิลลิลิตร + 0.025 N $Na_2B_4O_7$ 500 มิลลิลิตร (9.5 กรัม $Na_2B_4O_7.10H_2O$ เติมน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร) ทำให้เป็น 1 ลิตร
5. NaOH 6 N : NaOH 240 กรัม ทำให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น
6. Mixed indicator solution

   (1) Methyl red indicator 200 มิลลิลิตร + 100 มิลลิลิตร Ethyl alcohol 95 %

   (2) Methylene blue 100 มิลลิลิตร + 50 มิลลิลิตร Ethyl alcohol 50 มิลลิลิตร

   นำ (1) + (2) มารวมกัน
7. Indicating boric acid solution : $H_2BO_3$ 20 กรัม + 10 มิลลิลิตร ของ Mixed indicator solution ทำให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

*วิธีการวิเคราะห์*

นำน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร + Digestion Reagent 10 มิลลิลิตร + เม็ดแก้ว Digest (ย่อยที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส) จนเหลือตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร และมีควันขาวเกิดขึ้น ย่อยต่ออีก 30 นาที ปิดเครื่องแล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น

เติมน้ำกลั่นอีก 50 มิลลิลิตร + 10 มิลลิลิตร สารละลาย Sodium hydroxide - Sodium thiosulfate solution reagent + 5 มิลลิลิตร Borate buffer solution และปรับ pH ด้วย NaOH 6 N 2 มิลลิลิตร (pH > 9.5) นำไปใส่เครื่องกลั่นประมาณ 10 นาที

นำขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ใส่ Indicating boric acid solution 10 มิลลิลิตร นำไปใส่เครื่องกลั่นพร้อมกับหลอดแก้ว ดูปริมาตรในบีกเกอร์ให้ได้ปริมาตรรวมอย่างน้อย 80 มิลลิลิตร จะกลายจากสีม่วงเป็นสีเขียว วางให้เย็นแล้วนำมาไทเทรตด้วย $H_2SO_4$ 0.02 N จนกระทั่งกลายเป็นสีม่วง

*การคำนวณ*

TKN (mg/l) = (A-B)x280/mL(sample)

A = ปริมาตรของกรด $H_2SO_4$ 0.02N ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรด $H_2SO_4$ 0.02N ที่ใช้ในการไทเทรต Blank (มิลลิลิตร)

**5. Total Phosphorus (TP)**

เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณฟอสฟอรัส (phosphorus) ทั้งหมดที่อยู่ในน้ำ ฟอสฟอรัสจะเป็นสารอาหารที่สำคัญในการเจริญของสาหร่ายและจุลินทรีย์ โดยส่วนใหญ่ฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปสารละลายมี 3 รูปแบบด้วยกัน คือ orthophosphate, polyphosphate และ organic phosphate

*สารเคมี*

1. $H_2SO_4$ Solution : เติม conc. $H_2SO_4$ ลงในขวด 1 ลิตร แล้วเจือจางให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่นอย่างช้า ๆ
2. $(NH_4)_2S_2O_8$
3. NaOH 1 N
4. Molybdate Reagent :
   (1) ชั่ง $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ 25 g. ในน้ำกลั่น 175 มิลลิลิตร
   (2) ตวง 280 มิลลิลิตร $H_2SO_4$ + น้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร
   (1) + (2) ใส่น้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร
5. Stannous chloride reagent : ละลาย $SnCl_2.2H_2O$ 2.5 กรัม ใน 100 มิลลิลิตร Glycerol โดยทำให้ร้อนในน้ำอุ่นหรือให้ความร้อนอย่างช้า ๆ บน hot plate
6. สารละลายมาตรฐาน Phosphate : ละลาย 219.5 มิลลิกรัม $KH_2PO_4$ (anhydrous) ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

1 มิลลิลิตรของสารละลายเท่ากับ 50 $\mu g\ PO_4^{3-}$

มาตรฐาน Phosphorus

ปริมาตรรวม 50 มิลลิลิตร โดย 1 มิลลิลิตร = 50 µg $PO_4^{3-}$

| น้ำกลั่น (มิลลิลิตร) | สารละลายมาตรฐาน (มิลลิลิตร) | ปริมาตร (มิลลิลิตร) |
|---|---|---|
| 50 | - | 50 |
| 48 | 2 | 50 |
| 46 | 4 | 50 |
| 45 | 5 | 50 |
| 43 | 7 | 50 |
| 40 | 10 | 50 |

ก่อนทำการวิเคราะห์ล้างเครื่องแก้วด้วย HCl 1+1 (HCl 100 + น้ำกลั่น 100)

อุปกรณ์ที่ต้องล้าง : 1 ตัวอย่าง

| | |
|---|---|
| ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร | 2 ใบ |
| หลอดหยด | 3 อัน |
| ช้อนตักสาร | 3 อัน |
| ขวด Volumetric Flask 100 มิลลิลิตร | 3 ใบ |
| Pipet | 3 อัน |

**6 Fecal Coliform test**

*เครื่องมือและอุปกรณ์*

1. หลอดแก้ว (fermentation tube) พร้อมด้วยฝาปิด และหลอดเดอร์แรม (durham tube)
2. ปิเปตขนาด 10 และ 1 มิลลิลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว
3. ลูกยางใช้กับปิเปตสำหรับดูดน้ำตัวอย่าง
4. ตะเกียงก๊าซ (bunsen burner)
5. ห่วงโลหะ (sterile metal loop) เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร

6. ตู้เพาะเชื้อ
7. อ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 44.5 ± 0.2 องศาเซลเซียส
8. อาหารเหลว lactose broth และ EC broth

*การวิเคราะห์ขั้นแรก*

1. นำหลอดแก้ว (fermentation tube) ที่บรรจุอาหารเหลวแลคโทส (lactose) อยู่จนท่วมหลอดเดอร์แรม ไปทำให้ปลอดเชื้อโดยนำไปอบในหม้อนึ่งอัดเสียก่อน
2. เขียนสัญลักษณ์บนหลอดแก้วให้เรียบร้อยกันสับสน
3. เขย่าน้ำตัวอย่างแรงๆประมาณ 25 ครั้ง
4. ใช้ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร ดูดน้ำตัวอย่าง (aseptic) ใส่ลงในหลอดแก้วขนาดใหญ่ซึ่งบรรจุ double-strength lactose broth จำนวน 5 หลอด หลอดละ 10 มิลลิลิตร
5. ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดน้ำตัวอย่างลงในหลอดแก้วขนาดเล็กซึ่งบรรจุ lactose broth ความเข้มข้นปกติ จำนวน 5 หลอด หลอดละ 1 มิลลิลิตร
6. ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดน้ำตัวอย่างลงในหลอดแก้วขนาดเล็กซึ่งบรรจุ lactose broth ความเข้มข้นปกติ จำนวน 5 หลอด หลอดละ 0.1 มิลลิลิตร
7. เขย่า หลอดเบาๆ เพื่อให้อาหารเหลวผสมกับน้ำตัวอย่างได้ดี
8. นำ หลอดทั้งหมด (15 หลอด) ซึ่งอยู่ใน rack ไปเพาะเชื้อในตู้อบเพาะเชื้อที่ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ± 2 ชั่วโมง
9. เมื่อครบเวลา 24 ± 2 ชั่วโมง ตรวจดูว่ามีก๊าซเกิดขึ้นในหลอดหลอดเดอร์แรม ข้างในหลอดแก้วแต่ละหลอดหรือไม่ หลอดที่เกิดก๊าซให้ผลบวก หลอดที่ไม่เกิดก๊าซให้นำไปอบในตู้อบเพาะเชื้อต่อจนครบเวลา 48 ± 3 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาอ่านผลอีกครั้ง หลอดที่เกิดก๊าซภายในเวลา 24 ± 3 ชั่วโมง จะให้ผลเป็นบวกทั้งหมด ส่วนหลอดที่ไม่เกิดก๊าซจะให้ผลเป็นลบ

*การตรวจวิเคราะห์ขั้นที่สอง*

ใช้แยกระหว่าง fecal กับ non-fecal coliform โดยถ่ายของเหลวบางส่วนจากหลอดที่เกิดก๊าซในขั้นแรกใส่ลงในหลอดที่มีอาหารเหลว EC broth ซึ่งแบคทีเรียอื่นๆที่ไม่ใช่ fecal coliform จะถูกยับยั้งไม่ให้เจริญเติบโต ดังนั้นก๊าซที่เกิดขึ้นในขั้นนี้จึงบอกได้ว่า เกิดจากแบคทีเรียพวก fecal coliform การตรวจในขั้นนี้มีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกหลอดที่เกิดก๊าซจากการตรวจขั้นแรก มาทำการตรวจวิเคราะห์ขั้นยืนยัน

2. เขียนสัญลักษณ์บนหลอดแก้วที่บรรจุอาหาร EC broth ที่เตรียมไว้แล้ว ให้ตรงกับหลอดที่ให้ผลบวก
3. เขย่าหลอดที่ให้ผลบวกเบาๆ แล้วเอาห่วงโลหะ (sterile metal loop) เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ลนไฟให้แดงแล้วทิ้งให้เย็นสักครู่ จุ่มลงไปในหลอดที่ให้ผลบวกให้มีของเหลวติดอยู่จนเต็มห่วง แล้วจึงนำไปจุ่มลงในหลอดที่บรรจุอาหาร EC broth ทำจนครบทุกหลอด
4. นำหลอดที่ถ่ายเชื้อแล้ว ไปอบเพาะเชื้อในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 44.5 ± 0.2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ± 2 ชั่วโมง
5. หลอดที่เกิดก๊าซใน 24 ± 2 ชั่วโมงทั้งหมด จะให้ผลเป็นบวก แสดงว่าเป็น fecal coliform ถ้าไม่มีก๊าซเกิดขึ้นในหลอด ถือว่าให้ผลเป็นลบ นั่นคือ coliform นั้นมาจากแหล่งอื่นไม่ใช่จากทางเดินอาหารของสัตว์เลือดอุ่น

**ตารางผนวกที่ ข-2** แสดงการแปลผลค่า Fecal Coliform

| จำนวนหลอดที่ให้ผลบวก | ดัชนีเอ็มพีเอ็น /100 มล. | ระดับความเชื่อมั่น 95% ต่ำกว่า | ระดับความเชื่อมั่น 95% สูงกว่า | จำนวนหลอดที่ให้ผลบวก | ดัชนีเอ็มพีเอ็น /100 มล. | ระดับความเชื่อมั่น 95% ต่ำกว่า | ระดับความเชื่อมั่น 95% สูงกว่า |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0-0-0 | <2 | - | - | 4-2-0 | 22 | 9 | 56 |
| 0-0-1 | 2 | 1 | 10 | 4-2-1 | 26 | 12 | 65 |
| 0-1-0 | 2 | 1 | 10 | 4-3-0 | 27 | 12 | 67 |
| 0-2-0 | 4 | 1 | 13 | 4-3-1 | 33 | 15 | 77 |
| | | | | 4-4-0 | 34 | 16 | 80 |
| 1-0-0 | 2 | 1 | 11 | 5-0-0 | 23 | 9 | 86 |
| 1-0-1 | 4 | 1 | 15 | 5-0-1 | 30 | 10 | 110 |
| 1-1-0 | 4 | 1 | 15 | 5-0-2 | 40 | 20 | 140 |
| 1-1-1 | 6 | 2 | 18 | 5-1-0 | 30 | 10 | 120 |
| 1-2-0 | 6 | 2 | 18 | 5-1-1 | 50 | 20 | 150 |
| | | | | 5-1-2 | 60 | 30 | 180 |
| 2-0-0 | 4 | 1 | 17 | 5-2-0 | 50 | 20 | 170 |
| 2-0-1 | 7 | 2 | 20 | 5-2-1 | 70 | 30 | 210 |
| 2-1-0 | 7 | 2 | 21 | 5-2-2 | 90 | 40 | 250 |
| 2-1-1 | 9 | 3 | 24 | 5-3-0 | 80 | 30 | 250 |
| 2-2-0 | 9 | 3 | 25 | 5-3-1 | 110 | 40 | 300 |
| 2-3-0 | 12 | 5 | 29 | 5-3-2 | 140 | 60 | 360 |
| 3-0-0 | 8 | 3 | 24 | 5-3-3 | 170 | 80 | 410 |
| 3-0-1 | 11 | 4 | 29 | 5-4-0 | 130 | 50 | 390 |
| 3-1-0 | 11 | 4 | 29 | 5-4-1 | 170 | 70 | 480 |
| 3-1-1 | 14 | 6 | 35 | 5-4-2 | 220 | 100 | 580 |
| 3-2-0 | 14 | 6 | 35 | 5-4-3 | 280 | 120 | 690 |
| 3-2-1 | 17 | 7 | 40 | 5-4-4 | 350 | 160 | 820 |
| 4-0-0 | 13 | 5 | 38 | 5-5-0 | 240 | 100 | 940 |
| 4-0-1 | 17 | 7 | 45 | 5-5-1 | 300 | 100 | 1300 |
| 4-1-0 | 17 | 7 | 46 | 5-5-2 | 500 | 200 | 2000 |
| 4-1-1 | 21 | 9 | 55 | 5-5-3 | 900 | 300 | 2900 |
| 4-1-2 | 26 | 12 | 63 | 5-5-4 | | 600 | 5300 |
| | | | | 5-5-5 | | - | - |

# ภาคผนวก ค
# มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งชุมชน

**ตารางผนวกที่ ค-1** ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด

| พารามิเตอร์ | หน่วย | ประเภทมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง | | | | | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ก | ข | ค | ง | จ | |
| 1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) | - | 5-9 | 5-9 | 5-9 | 5-9 | 5-9 | * |
| 2. บีโอดี (BOD) | มก./ล | 20 | 30 | 40 | 50 | 200 | * |
| 3. ปริมาณของแข็ง (Solid) | | | | | | | |
| 3.1 ค่าสารแขวนลอย (Suspended Solids) | มก./ล | 30 | 40 | 50 | 50 | 60 | * |
| 3.2 ค่าตะกอนหนัก (Settleable Solid) | มก./ล | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | * |
| 3.3 ค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solid) | มก./ล | 500 | 500 | 500 | 500 | - | * |
| 4. ค่าซัลไฟด์ (Sulfide) | มก./ล | 1.0 | 1.0 | 3.0 | 4.0 | - | * |
| 5. ไนโตรเจน (Nitrogen) ในรูปทีเคเอ็น (TKN) | มก./ล | 35 | 35 | 40 | 40 | - | * |
| 6. น้ำมันและไขมัน (Fat Oil & Grease) | มก./ล | 20 | 20 | 20 | 20 | 100 | * |

**หมายเหตุ** : * เป็นค่าที่เพิ่มจากปริมาณสารละลายในน้ำใช้ตามปกติ

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

**ตารางผนวกที่ ค-2** ประเภทของอาคารเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อม

| ประเภทอาคาร | ขนาดของอาคารที่กำหนดมาตรฐานการระบายน้ำทิ้ง | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ก | ข | ค | ง | จ |
| 1. อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด | ≥ 500 ห้องนอน | 100-500 ห้องนอน | < 100 ห้องนอน | - | - |
| 2. โรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม | ≥ 200 ห้อง | 60-200 ห้อง | < 60 ห้อง | - | - |
| 3. หอพักตามกฎหมายว่าด้วยหอพัก | - | < 250 ห้อง | 50-250 ห้อง | 10-50 ห้อง | - |
| 4. สถานบริการอาบอบนวด | - | ≤ 5,000 ม$^2$ | 1,000-5,000 ม$^2$ | - | - |
| 5. สถานพยาบาล | ≥ 30 เตียง | 10-30 เตียง | - | - | - |
| 6. อาคารโรงเรียนราษฎร์หรือสถานบันอุดมศึกษา | ≥ 25,000 ม$^2$ | 5,000-25,000 ม$^2$ | - | - | - |
| 7. อาคารที่ทำการ | ≥ 55,000 ม$^2$ | 10,000-55,000 ม$^2$ | 50,00-10,000ม$^2$ | - | - |
| 8. ศูนย์การค้าห้างสรรพสินค้า | ≥ 25,000 ม$^2$ | 5,000-25,000 ม$^2$ | - | - | - |
| 9. ตลาด | ≥ 2,500 ม$^2$ | 1,500-2,500 ม$^2$ | 1,000-1,500 ม$^2$ | 500-1,000 ม$^2$ | - |
| 10. ภัตตาคารและร้านอาหาร | ≥ 2,500 ม$^2$ | 500-2,500 ม$^2$ | 250-500 ม$^2$ | 100-250 ม$^2$ | 100 ม$^2$ |

**หมายเหตุ** : < = น้อยกว่า

≥ = เกินกว่าหรือเท่ากับ

**ที่มา** : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำจากอาคารบางประเภท และบางขนาด ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 111 ตอนพิเศษ 9 ง ลงวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2537

**ตารางผนวกที่ ค-3** เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน

| ลักษณะของน้ำทิ้ง | หน่วย | ค่ามาตรฐานในระดับและขนาดชุมชนต่างๆ | | | | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ก.2501คนขึ้นไป | ข.501-2500 คน | ค.101-500 คน | ง.น้อยกว่า 101 คน | |
| 1. บีโอดี | มก./ลบ.ดม. | 20 | 30 | 60 | 90 | เป็นบีโอดีของตัวอย่างน้ำที่ปล่อยให้ตกตะกอน 30 นาที |
| 2. ปริมาณของแข็ง | | | | | | |
| 2.1 ปริมาณสารแขวนลอย | มก./ลบ.ดม. | 30 | 40 | 50 | 60 | |
| 2.2 ปริมาณตะกอนหนัก | ลบ.ซม./ลบ.ดม. | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| 2.3 ปริมาณสารละลาย | มก./ลบ.ดม. | 500 | 500 | 500 | 500 | เพิ่มขึ้นจากปริมาณสารละลายในน้ำใช้ได้ไม่เกิน 500 มก./ลบ.ดม. |
| 3. ซัลไฟด์ | มก./ลบ.ดม. | 1.0 | 1.0 | 3.0 | 4.0 | |
| 4. คลอรีนอิสระตกค้าง | มก./ลบ.ดม. | 0.3 | 0.3 | - | - | เฉพาะภาวะโรคระบาดต้องเติมคลอรีนให้มีคลอรีนอิสระตกค้างในน้ำ แต่มีค่าไม่เกิน 0.3 มก./ลบ.ดม. สำหรับภาวะปกติไม่กำหนดค่านี้ |
| 5. ไนโตรเจน | | | | | | |
| 5.1 ทีเคเอ็น | มก./ลบ.ดม. | - | - | 40 | 40 | แบ่งขนาดชุมชนเป็น 2 ระดับ คือ น้อยกว่า 501 และ 501 คนขึ้นไป |
| 5.2 ออร์กานิค-ไนโตรเจน | มก./ลบ.ดม. | 10 | 10 | 15 | 15 | |
| 5.3 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน | มก./ลบ.ดม. | - | - | 25 | 25 | เครื่องหมาย - คือ ไม่กำหนดเพราะปกติไม่มีไนเตรท-ไนโตรเจนออกมาจากขบวนการใช้ออกซิเจน |
| 5.4 ไนเตรท-ไนโตรเจน | มก./ลบ.ดม. | * | * | + | + | เครื่องหมาย * คือ จะกำหนดเมื่อแหล่งน้ำมีปัญหา |
| 6. ค่าความเป็นกรด-ด่าง | มก./ลบ.ดม. | 5-9 | 5-9 | 5-9 | 5-9 | |
| 7. น้ำมันและไขมัน | มก./ลบ.ดม. | 20 | 20 | 20 | 20 | ตัวอย่างผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (emulsified samples) เก็บที่จัดปั่นป่วน (turbulence) |
| 8. ฟีคัล โคลิฟอร์ม | เอ็มพีเอ็น/100 ลบ.ซม. | x | x | x | x | เครื่องหมาย x คือ ไม่กำหนดในขณะนี้ แต่จะกำหนดภายหลังเมื่อมีข้อมูลเพิ่มเติม |
| 9. ฟอสเฟส | มก./ลบ.ดม. | x | x | x | x | |

**หมายเหตุ** : มติกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 31 มกราคม 2528