

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้ผักบุ้งและผักกระเฉดในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส

ผู้วิจัย นางสาววิรัตนา สุขเกษม **ปริญญา** สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต **อาจารย์ที่ปรึกษา** (1) รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีศักดิ์ สุนทรไชย (2) รองศาสตราจารย์ สมทรง อินสว่าง **ปีการศึกษา** 2547

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของผักบุ้งและผักกระเฉดในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส (2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้กับการไม่ใช้ผักบุ้ง และการใช้กับการไม่ใช้ผักกระเฉด ในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส (3) หาระยะเวลากักพักชดศาศตร์ที่เหมาะสมในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส โดยการใช้ผักบุ้งและผักกระเฉด (4) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้งและผักกระเฉด

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง กลุ่มตัวอย่างคือ ผักบุ้งและผักกระเฉดในแหล่งน้ำแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรีนำไปทดลองในบ่อทดลองบึงประดิษฐ์ในการลดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ผลการวิจัยพบว่า (1) ผักบุ้งมีประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส สูงกว่าผักกระเฉด (2) การใช้ผักบุ้ง หรือผักกระเฉดมีประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสใกล้เคียงกับการไม่ใช้ผักบุ้ง หรือไม่ใช้ผักกระเฉด แต่การใช้ผักทั้งสองทำให้ซีโอดีมีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากลดภาวะสาหร่ายบานสะพรั่งลง (3) ระยะเวลากักพักชดศาศตร์ที่ 20 วัน เหมาะสมในการลดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยการใช้ผักบุ้งและผักกระเฉด (4) ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง และของผักกระเฉดที่ 60 วัน มีประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงสุด

คำสำคัญ ผักบุ้ง ผักกระเฉด บึงประดิษฐ์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส

Thesis title: Using *Ipomoea aquatica* Forsk. and *Neptunia oleracea* Lour. for Reducing Nitrogen and Phosphorus in Effluent from Activated Sludge Wastewater Treatment System

Researcher: Miss Wirattana Sukkasem; **Degree:** Mater of Public Health (Public Health Administration); **Thesis advisors:** (1) Dr. Sarisak Soontornchai , Associate Professor; (2) Somsong Insawang , Associate Professor; **Academic year:** 2004

ABSTRACT

The objectives of this research were : (1) to compare between the efficiency of *Ipomoea aquatica* Forsk. and *Neptunia oleracea* Lour. for reducing nitrogen and phosphorus in effluent from activated sludge wastewater treatment system ; (2) to compare between the efficiency of with and without *Ipomoea aquatica* Forsk. and with and without *Neptunia oleracea* Lour. for reducing nitrogen and phosphorus in effluent from activated sludge wastewater treatment system ; (3) to find the appropriate hydraulic retention time (HRT) with *Ipomoea aquatica* Forsk. and *Neptunia oleracea* Lour. for reducing nitrogen and phosphorus in effluent from activated sludge wastewater treatment system ; and (4) to compare the efficiency of *Ipomoea aquatica* Forsk. and *Neptunia oleracea* Lour. for reducing nitrogen and phosphorus at each growth age .

This research was a quasi- experimental research. The samples were *Ipomoea aquatica* Forsk. and *Neptunia oleracea* Lour. from a pond in Chonburi Province. They were grown in constructed wetland system for reducing nitrogen and phosphorus in effluent from activated sludge wastewater treatment system. Statistics used for data analysis was percentage, mean, standard deviation and analysis of variance.

The research findings were : (1) The efficiency of nitrogen and phosphorus reduction with *Ipomoea aquatica* Forsk. was better than with *Neptunia oleracea* Lour.; (2) The efficiency of nitrogen and phosphorus reduction with *Ipomoea aquatica* Forsk. or *Neptunia oleracea* Lour. was nearly similar to that of without *Ipomoea aquatica* Forsk. or without *Neptunia oleracea* Lour. but these two plants caused lower COD value which complied with wastewater standard of the factory due to less algae bloom ; (3) 20 days was the most appropriate HRT with *Ipomoea aquatica* Forsk. and *Neptunia oleracea* Lour. for reducing nitrogen and phosphorus ; and (4) The growth age 60 days was the highest efficiency for reducing nitrogen and phosphorus with *Ipomoea aquatica* Forsk. and *Neptunia oleracea* Lour.

Keywords: *Ipomoea aquatica* Forsk. *Neptunia oleracea* Lour., Constructed wetland , Nitrogen and Phosphorus.

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีศักดิ์ สุนทรไชย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช และรองศาสตราจารย์ สมทรง อินสว่าง ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและติดตามการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ อย่างใกล้ชิดตลอดมา นับตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณคุณอุษา จันทร์ตัน ผู้อำนวยการฝ่ายบริหาร บริษัท รามา ซูส์ อินคัสตรีส์ จำกัด ที่ได้กรุณาอนุมัติการลาศึกษาต่อ และสถานที่ทำวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สิ่งแวดล้อม บริษัท รามา ซูส์ อินคัสตรีส์ จำกัด ทุกท่านที่ช่วยเหลือในการติดตั้งระบบบำบัดบ่อทดลองและช่วยดูแลตลอดระยะเวลาทำการวิจัย

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เพื่อนนักศึกษา และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ทุกท่านที่ได้กรุณาให้การสนับสนุน ช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

วิรัตนา สุขเกษม

พฤศจิกายน 2547

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
กรอบแนวคิดของการวิจัย.....	2
สมมติฐานของการวิจัย.....	4
ขอบเขตการวิจัย.....	4
ตัวแปรที่ศึกษา.....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	7
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	33
อุปกรณ์และเครื่องมือในการ วิจัย.....	35
การทดลอง.....	36
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์	
ข้อมูล.....	42
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์	
ข้อมูล.....	44
สภาวะแวดล้อมในการทดลอง.....	44
ลักษณะทั่วไปของพืช.....	45
คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี.....	50

บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	84
---	----

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
สรุปการวิจัย.....	84
อภิปรายผล.....	87
ข้อเสนอแนะ.....	91
บรรณานุกรม.....	94
ภาคผนวก.....	97
ประวัติผู้วิจัย.....	129

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา.....10

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของ
โรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา.....13

ตารางที่ 2.3 ปริมาณไนโตรเจนในน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดและน้ำทิ้งหลังจาก
ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้า
ที่ศึกษา.....14

ตารางที่ 2.4 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดและน้ำทิ้งหลังจาก
ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้า
ที่ศึกษา.....15

ตารางที่ 2.5 หลักการทำงานของพีชลอยน้ำในการบำบัดน้ำทิ้ง.....21

ตารางที่ 2.6 ค่ากำหนดการออกแบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือผิวดิน.....23

ตารางที่ 2.7 กลไกในการบำบัดน้ำเสียในบึงประดิษฐ์.....24

ตารางที่ 3.1 รูปแบบการทดลองในแต่ละบ่อการทดลองทั้ง 27 บ่อ.....41

ตารางที่ 3.2 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพลักษณะน้ำทิ้ง
.....42

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็นของคุณภาพน้ำเข้าและออกจากบ่อทดลอง.....51

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของคุณภาพน้ำเข้าและออกจากบ่อทดลอง.....52

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยซีโอดีของคุณภาพน้ำเข้าและออกจากบ่อ
ทดลอง.....53

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน54

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัส.....55

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดี.....56

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ในแต่ละระยะเวลาที่กักพัชลดศาสตร์.....73

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ

การลดไนโตรเจนของระยะเวลากักพืชศาสตร์ทั้ง 3 กลุ่ม.....	73
---	----

ญ

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละชนิดพืช.....	74
ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ การลดไนโตรเจนของชนิดพืชทั้ง 3 กลุ่ม.....	74
ตารางที่ 4.11 ผลต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนเปรียบเทียบ ชนิดพืชรายคู่ด้วยวิธีเชฟเฟ.....	75
ตารางที่ 4.12 ประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช.....	75
ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ การลดไนโตรเจนของช่วงอายุการเจริญเติบโตทั้ง 3 กลุ่ม.....	76
ตารางที่ 4.14 ประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละระยะเวลากักพืชศาสตร์.....	76
ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ การลดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระยะเวลากักพืชศาสตร์ทั้ง 3 กลุ่ม.....	77
ตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละชนิดพืช.....	77
ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ ในการลดฟอสฟอรัสของชนิดพืชและบ่อควบคุม.....	78
ตารางที่ 4.18 ประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช.....	78
ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ ในการลดฟอสฟอรัสของช่วงอายุการเจริญเติบโตทั้ง 3 กลุ่ม.....	79
ตารางที่ 4.20 ผลต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสเปรียบเทียบ ช่วงอายุการเจริญเติบโตรายคู่ด้วยวิธีเชฟเฟ.....	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.21	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละระยะเวลาที่กักพัชลดศาสตร์.....	80
ตารางที่ 4.22	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ ในการลดซีโอดีของระยะเวลาที่กักพัชลดศาสตร์ทั้ง 3 กลุ่ม.....	80
ตารางที่ 4.23	ผลต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีเปรียบเทียบ ที่ระยะเวลาที่กักพัชลดศาสตร์รายคู่ด้วยวิธีเชฟเฟ	81
ตารางที่ 4.24	ประสิทธิภาพในการลดซีโอดี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละชนิดพืช.....	81
ตารางที่ 4.25	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ การลดซีโอดีของชนิดพืชทั้ง 3 กลุ่ม.....	82
ตารางที่ 4.26	ประสิทธิภาพในการลดซีโอดี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโต.....	82
ตารางที่ 4.27	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ การลดซีโอดีของช่วงอายุการเจริญเติบโตทั้ง 3 กลุ่ม.....	83
ตารางที่ 4.28	สรุปค่าของประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี.....	83

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1	กรอบแนวคิดการวิจัย.....	3
ภาพที่ 2.1	ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน.....	8
ภาพที่ 2.2	ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา.....	12
ภาพที่ 2.3	ภาวะสาหร่ายสะพรั่งหลังจากการเก็บกักน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์.....	16
ภาพที่ 2.4	ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน.....	18
ภาพที่ 2.5	ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวตั้ง.....	18
ภาพที่ 2.6	ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวราบ.....	19
ภาพที่ 3.1	แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียในการทดลอง.....	36
ภาพที่ 3.2	แหล่งของผักนึ่งที่นำมาใช้ในการทดลองบำบัดน้ำเสีย.....	37
ภาพที่ 3.3	การเพาะเลี้ยงผักนึ่งก่อนการทดลองในบ่อเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัด จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา.....	37
ภาพที่ 3.4	การเพาะเลี้ยงผักกระเฉดก่อนการทดลองในบ่อเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัด จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา.....	38
ภาพที่ 3.5	บ่อทดลองปลูกผักนึ่งควบคุมระดับน้ำให้ลึก 20 เซนติเมตร.....	39
ภาพที่ 3.6	บ่อทดลองปลูกผักกระเฉดควบคุมระดับน้ำให้ลึก 20 เซนติเมตร.....	39
ภาพที่ 3.7	บ่อควบคุม ควบคุมระดับน้ำให้ลึก 20 เซนติเมตร.....	40
ภาพที่ 4.1	บ่อทดลองปลูกผักนึ่งที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	45
ภาพที่ 4.2	บ่อทดลองปลูกผักนึ่งที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	46
ภาพที่ 4.3	บ่อทดลองปลูกผักนึ่งที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	46
ภาพที่ 4.4	บ่อทดลองปลูกผักกระเฉดที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	47
ภาพที่ 4.5	บ่อทดลองปลูกผักกระเฉดที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	48

ภาพที่ 4.6 บ่อทดลองปลูกผักกระเฉดที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	48
ภาพที่ 4.7 บ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	49
ภาพที่ 4.8 บ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	49

๓

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.9 บ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	50
ภาพที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็น (มก./ล) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วั น.....	57
ภาพที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	56
ภาพที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็น (มก./ล) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	59
ภาพที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	59
ภาพที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็น (มก./ล) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	60
ภาพที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	61
ภาพที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	62
ภาพที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	63

ภาพที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.) ที่ระยะเวลาเก็บผักผลศาสตร์ 15 วัน.....	64
ภาพที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลาเก็บผักผลศาสตร์ 15 วัน.....	64
ภาพที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.) ที่ระยะเวลาเก็บผักผลศาสตร์ 20 วัน.....	65
ภาพที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลาเก็บผักผลศาสตร์ 20 วัน.....	66
ภาพที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.) ที่ระยะเวลาเก็บผักผลศาสตร์ 10 วัน.....	67
ภาพที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีที่ระยะเวลาเก็บผักผลศาสตร์ 10 วัน.....	68
ภาพที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.) ที่ระยะเวลาเก็บผักผลศาสตร์ 15 วัน.....	69
ภาพที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีที่ระยะเวลาเก็บผักผลศาสตร์ 15 วัน.....	70
ภาพที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.) ที่ระยะเวลาเก็บผักผลศาสตร์ 20 วัน.....	71
ภาพที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีที่ระยะเวลาเก็บผักผลศาสตร์ 20 วัน.....	72

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้ผักบุ้งและผักกระเฉดในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส

ผู้วิจัย นางสาววิรัตนา สุขเกษม **ปริญญา** สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต **อาจารย์ที่ปรึกษา** (1) รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีศักดิ์ สุนทรไชย (2) รองศาสตราจารย์ สมทรง อินสว่าง **ปีการศึกษา** 2547

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของผักบุ้งและผักกระเฉดในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส (2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้กับการไม่ใช้ผักบุ้ง และการใช้กับการไม่ใช้ผักกระเฉด ในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส (3) หาระยะเวลากักพักชดศาศตร์ที่เหมาะสมในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส โดยการใช้ผักบุ้งและผักกระเฉด (4) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้งและผักกระเฉด

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง กลุ่มตัวอย่างคือ ผักบุ้งและผักกระเฉดในแหล่งน้ำแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรีนำไปทดลองในบ่อทดลองบึงประดิษฐ์ในการลดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ผลการวิจัยพบว่า (1) ผักบุ้งมีประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส สูงกว่าผักกระเฉด (2) การใช้ผักบุ้ง หรือผักกระเฉดมีประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสใกล้เคียงกับการไม่ใช้ผักบุ้ง หรือไม่ใช้ผักกระเฉด แต่การใช้ผักทั้งสองทำให้ซีโอดีมีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากลดภาวะสาหร่ายบานสะพรั่งลง (3) ระยะเวลากักพักชดศาศตร์ที่ 20 วัน เหมาะสมในการลดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยการใช้ผักบุ้งและผักกระเฉด (4) ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง และของผักกระเฉดที่ 60 วัน มีประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงสุด

คำสำคัญ ผักบุ้ง ผักกระเฉด บึงประดิษฐ์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส

Thesis title: Using *Ipomoea aquatica* Forsk. and *Neptunia oleracea* Lour. for Reducing Nitrogen and Phosphorus in Effluent from Activated Sludge Wastewater Treatment System

Researcher: Miss Wirattana Sukkasem; **Degree:** Mater of Public Health (Public Health Administration); **Thesis advisors:** (1) Dr. Sarisak Soontornchai , Associate Professor; (2) Somsong Insawang , Associate Professor; **Academic year:** 2004

ABSTRACT

The objectives of this research were : (1) to compare between the efficiency of *Ipomoea aquatica* Forsk. and *Neptunia oleracea* Lour. for reducing nitrogen and phosphorus in effluent from activated sludge wastewater treatment system ; (2) to compare between the efficiency of with and without *Ipomoea aquatica* Forsk. and with and without *Neptunia oleracea* Lour. for reducing nitrogen and phosphorus in effluent from activated sludge wastewater treatment system ; (3) to find the appropriate hydraulic retention time (HRT) with *Ipomoea aquatica* Forsk. and *Neptunia oleracea* Lour. for reducing nitrogen and phosphorus in effluent from activated sludge wastewater treatment system ; and (4) to compare the efficiency of *Ipomoea aquatica* Forsk. and *Neptunia oleracea* Lour. for reducing nitrogen and phosphorus at each growth age .

This research was a quasi- experimental research. The samples were *Ipomoea aquatica* Forsk. and *Neptunia oleracea* Lour. from a pond in Chonburi Province. They were grown in constructed wetland system for reducing nitrogen and phosphorus in effluent from activated sludge wastewater treatment system. Statistics used for data analysis was percentage, mean, standard deviation and analysis of variance.

The research findings were : (1) The efficiency of nitrogen and phosphorus reduction with *Ipomoea aquatica* Forsk. was better than with *Neptunia oleracea* Lour.; (2) The efficiency of nitrogen and phosphorus reduction with *Ipomoea aquatica* Forsk. or *Neptunia oleracea* Lour. was nearly similar to that of without *Ipomoea aquatica* Forsk. or without *Neptunia oleracea* Lour. but these two plants caused lower COD value which complied with wastewater standard of the factory due to less algae bloom ; (3) 20 days was the most appropriate HRT with *Ipomoea aquatica* Forsk. and *Neptunia oleracea* Lour. for reducing nitrogen and phosphorus ; and (4) The growth age 60 days was the highest efficiency for reducing nitrogen and phosphorus with *Ipomoea aquatica* Forsk. and *Neptunia oleracea* Lour.

Keywords: *Ipomoea aquatica* Forsk. *Neptunia oleracea* Lour., Constructed wetland , Nitrogen and Phosphorus.

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีศักดิ์ สุนทรไชย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช และรองศาสตราจารย์ สมทรง อินสว่าง ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและติดตามการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ อย่างใกล้ชิดตลอดมา นับตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณคุณอุษา จันทร์ตัน ผู้อำนวยการฝ่ายบริหาร บริษัท รามา ซูส อินคัสตรีส์ จำกัด ที่ได้กรุณาอนุมัติการลาศึกษาต่อ และสถานที่ทำวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สิ่งแวดล้อม บริษัท รามา ซูส อินคัสตรีส์ จำกัด ทุกท่านที่ช่วยเหลือในการติดตั้งระบบบำบัดบ่อทดลองและช่วยดูแลตลอดระยะเวลาทำการวิจัย

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เพื่อนนักศึกษา และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ทุกท่านที่ได้กรุณาให้การสนับสนุน ช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

วิรัตนา สุขเกษม

พฤศจิกายน 2547

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
กรอบแนวคิดของการวิจัย.....	2
สมมติฐานของการวิจัย.....	4
ขอบเขตการวิจัย.....	4
ตัวแปรที่ศึกษา.....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	7
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	33
อุปกรณ์และเครื่องมือในการ วิจัย.....	35
การทดลอง.....	36
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์	
ข้อมูล.....	42
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์	
ข้อมูล.....	44
สภาวะแวดล้อมในการทดลอง.....	44
ลักษณะทั่วไปของพืช.....	45
คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี.....	50

บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	84
---	----

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
สรุปการวิจัย.....	84
อภิปรายผล.....	87
ข้อเสนอแนะ.....	91
บรรณานุกรม.....	94
ภาคผนวก.....	97
ประวัติผู้วิจัย.....	129

การลดไนโตรเจนของระยะเวลากักพืชศาสตร์ทั้ง 3 กลุ่ม.....	73
---	----

ญ

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละชนิดพืช.....	74
ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ การลดไนโตรเจนของชนิดพืชทั้ง 3 กลุ่ม.....	74
ตารางที่ 4.11 ผลต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนเปรียบเทียบ ชนิดพืชรายคู่ด้วยวิธีเชฟเฟ.....	75
ตารางที่ 4.12 ประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช.....	75
ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ การลดไนโตรเจนของช่วงอายุการเจริญเติบโตทั้ง 3 กลุ่ม.....	76
ตารางที่ 4.14 ประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละระยะเวลากักพืชศาสตร์.....	76
ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ การลดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระยะเวลากักพืชศาสตร์ทั้ง 3 กลุ่ม.....	77
ตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละชนิดพืช.....	77
ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ ในการลดฟอสฟอรัสของชนิดพืชและบ่อควบคุม.....	78
ตารางที่ 4.18 ประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช.....	78
ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ ในการลดฟอสฟอรัสของช่วงอายุการเจริญเติบโตทั้ง 3 กลุ่ม.....	79
ตารางที่ 4.20 ผลต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสเปรียบเทียบ ช่วงอายุการเจริญเติบโตรายคู่ด้วยวิธีเชฟเฟ.....	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.21	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละระยะเวลาที่กักพัชลดศาสตร์.....	80
ตารางที่ 4.22	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ ในการลดซีโอดีของระยะเวลาที่กักพัชลดศาสตร์ทั้ง 3 กลุ่ม.....	80
ตารางที่ 4.23	ผลต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีเปรียบเทียบ ที่ระยะเวลาที่กักพัชลดศาสตร์รายคู่ด้วยวิธีเชฟเฟ	81
ตารางที่ 4.24	ประสิทธิภาพในการลดซีโอดี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละชนิดพืช.....	81
ตารางที่ 4.25	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ การลดซีโอดีของชนิดพืชทั้ง 3 กลุ่ม.....	82
ตารางที่ 4.26	ประสิทธิภาพในการลดซีโอดี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโต.....	82
ตารางที่ 4.27	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ การลดซีโอดีของช่วงอายุการเจริญเติบโตทั้ง 3 กลุ่ม.....	83
ตารางที่ 4.28	สรุปค่าของประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี.....	83

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1	กรอบแนวคิดการวิจัย.....	3
ภาพที่ 2.1	ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน.....	8
ภาพที่ 2.2	ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา.....	12
ภาพที่ 2.3	ภาวะสาหร่ายสะพรั่งหลังจากการเก็บกักน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์.....	16
ภาพที่ 2.4	ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน.....	18
ภาพที่ 2.5	ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวคิง.....	18
ภาพที่ 2.6	ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวราบ.....	19
ภาพที่ 3.1	แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียในการทดลอง.....	36
ภาพที่ 3.2	แหล่งของผักนึ่งที่นำมาใช้ในการทดลองบำบัดน้ำเสีย.....	37
ภาพที่ 3.3	การเพาะเลี้ยงผักนึ่งก่อนการทดลองในบ่อเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัด จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา.....	37
ภาพที่ 3.4	การเพาะเลี้ยงผักกระเฉดก่อนการทดลองในบ่อเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัด จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา.....	38
ภาพที่ 3.5	บ่อทดลองปลูกผักนึ่งควบคุมระดับน้ำให้ลึก 20 เซนติเมตร.....	39
ภาพที่ 3.6	บ่อทดลองปลูกผักกระเฉดควบคุมระดับน้ำให้ลึก 20 เซนติเมตร.....	39
ภาพที่ 3.7	บ่อควบคุม ควบคุมระดับน้ำให้ลึก 20 เซนติเมตร.....	40
ภาพที่ 4.1	บ่อทดลองปลูกผักนึ่งที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	45
ภาพที่ 4.2	บ่อทดลองปลูกผักนึ่งที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	46
ภาพที่ 4.3	บ่อทดลองปลูกผักนึ่งที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	46
ภาพที่ 4.4	บ่อทดลองปลูกผักกระเฉดที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	47
ภาพที่ 4.5	บ่อทดลองปลูกผักกระเฉดที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	48

ภาพที่ 4.6 บ่อทดลองปลูกผักกระเฉดที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	48
ภาพที่ 4.7 บ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	49
ภาพที่ 4.8 บ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	49

๖

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.9 บ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	50
ภาพที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็น (มก./ล) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วั น.....	57
ภาพที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	56
ภาพที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็น (มก./ล) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	59
ภาพที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	59
ภาพที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็น (มก./ล) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	60
ภาพที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	61
ภาพที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	62
ภาพที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	63

ภาพที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	64
ภาพที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	64
ภาพที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	65
ภาพที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	66
ภาพที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	67
ภาพที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	68
ภาพที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วั น.....	69
ภาพที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	70
ภาพที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	71
ภาพที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	72

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
กรอบแนวคิดของการวิจัย.....	2
สมมติฐานของการวิจัย.....	4
ขอบเขตการวิจัย.....	4
ตัวแปรที่ศึกษา.....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	7
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	33
อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย.....	35
การทดลอง.....	36
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล.....	42
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	44
สภาวะแวดล้อมในการทดลอง.....	44
ลักษณะทั่วไปของพืช.....	45
คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี.....	50
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	84

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
สรุปการวิจัย.....	84
อภิปรายผล.....	87
ข้อเสนอแนะ.....	91
บรรณานุกรม.....	94
ภาคผนวก.....	97
ประวัติผู้วิจัย.....	129

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	ลักษณะน้ำเสียของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา.....	10
ตารางที่ 2.2	ลักษณะของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของ โรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา.....	13
ตารางที่ 2.3	ปริมาณไนโตรเจนในน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดและน้ำทิ้งหลังจาก ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของ โรงงานผลิตรองเท้า ที่ศึกษา.....	14
ตารางที่ 2.4	ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดและน้ำทิ้งหลังจาก ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของ โรงงานผลิตรองเท้า ที่ศึกษา.....	15
ตารางที่ 2.5	หลักการทำงานของพีชลอยน้ำในการบำบัดน้ำทิ้ง.....	21
ตารางที่ 2.6	ค่ากำหนดการออกแบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือผิวดิน.....	23
ตารางที่ 2.7	กลไกในการบำบัดน้ำเสียในบึงประดิษฐ์.....	24
ตารางที่ 3.1	รูปแบบการทดลองในแต่ละบ่อการทดลองทั้ง 27 บ่อ.....	41
ตารางที่ 3.2	วิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำทิ้ง.....	42
ตารางที่ 4.1	ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็นของคุณภาพน้ำเข้าและออกจากบ่อทดลอง.....	51
ตารางที่ 4.2	ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของคุณภาพน้ำเข้าและออกจากบ่อทดลอง.....	52
ตารางที่ 4.3	ค่าเฉลี่ยซีไอดีของคุณภาพน้ำเข้าและออกจากบ่อทดลอง.....	53
ตารางที่ 4.4	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน.....	54
ตารางที่ 4.5	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัส.....	55
ตารางที่ 4.6	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีไอดี.....	56
ตารางที่ 4.7	ประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละระยะเวลาที่กักพักชลศาสตร์.....	73
ตารางที่ 4.8	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ การลดไนโตรเจนของระยะเวลาที่กักพักชลศาสตร์ทั้ง 3 กลุ่ม.....	73

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละชนิดพืช.....	74
ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ การลดไนโตรเจนของชนิดพืชทั้ง 3 กลุ่ม.....	74
ตารางที่ 4.11 ผลต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนเปรียบเทียบ ชนิดพืชรายคู่ด้วยวิธีเชฟเฟ.....	75
ตารางที่ 4.12 ประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช.....	75
ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ การลดไนโตรเจนของช่วงอายุการเจริญเติบโตทั้ง 3 กลุ่ม.....	76
ตารางที่ 4.14 ประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละระยะเวลาการพักผลศาสตร์.....	76
ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ การลดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระยะเวลาการพักผลศาสตร์ทั้ง 3 กลุ่ม.....	77
ตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละชนิดพืช.....	77
ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ ในการลดฟอสฟอรัสของชนิดพืชและบ่อควบคุม.....	78
ตารางที่ 4.18 ประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช.....	78
ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ ในการลดฟอสฟอรัสของช่วงอายุการเจริญเติบโตทั้ง 3 กลุ่ม.....	79
ตารางที่ 4.20 ผลต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสเปรียบเทียบ ช่วงอายุการเจริญเติบโตรายคู่ด้วยวิธีเชฟเฟ.....	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.21	ประสิทธิภาพการลดซีไอดี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละระยะเวลาที่กักพัชลดศาสตร์.....	80
ตารางที่ 4.22	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ ในการลดซีไอดีของระยะเวลาที่กักพัชลดศาสตร์ทั้ง 3 กลุ่ม.....	80
ตารางที่ 4.23	ผลต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีไอดีเปรียบเทียบ ที่ระยะเวลาที่กักพัชลดศาสตร์รายคู่ด้วยวิธีเซฟเฟ.....	81
ตารางที่ 4.24	ประสิทธิภาพในการลดซีไอดี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละชนิดพืช.....	81
ตารางที่ 4.25	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ การลดซีไอดีของชนิดพืชทั้ง 3 กลุ่ม.....	82
ตารางที่ 4.26	ประสิทธิภาพในการลดซีไอดี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโต.....	82
ตารางที่ 4.27	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ การลดซีไอดีของช่วงอายุการเจริญเติบโตทั้ง 3 กลุ่ม.....	83
ตารางที่ 4.28	สรุปค่าของประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีไอดี.....	83

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1	กรอบแนวคิดการวิจัย.....	3
ภาพที่ 2.1	ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน.....	8
ภาพที่ 2.2	ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา.....	12
ภาพที่ 2.3	ภาวะสาหร่ายสะพรั่งหลังจากการเก็บกักน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์.....	16
ภาพที่ 2.4	ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน.....	18
ภาพที่ 2.5	ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวดิ่ง.....	18
ภาพที่ 2.6	ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวราบ.....	19
ภาพที่ 3.1	แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียในการทดลอง.....	36
ภาพที่ 3.2	แหล่งของผักบุงที่นำมาใช้ในการทดลองบำบัดน้ำเสีย.....	37
ภาพที่ 3.3	การเพาะเลี้ยงผักบุงก่อนการทดลองในบ่อเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัด จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา.....	37
ภาพที่ 3.4	การเพาะเลี้ยงผักกระเฉดก่อนการทดลองในบ่อเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัด จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา.....	38
ภาพที่ 3.5	บ่อทดลองปลูกผักบุงควบคุมระดับน้ำให้ลึก 20 เซนติเมตร.....	39
ภาพที่ 3.6	บ่อทดลองปลูกผักกระเฉดควบคุมระดับน้ำให้ลึก 20 เซนติเมตร.....	39
ภาพที่ 3.7	บ่อควบคุม ควบคุมระดับน้ำให้ลึก 20 เซนติเมตร.....	40
ภาพที่ 4.1	บ่อทดลองปลูกผักบุงที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	45
ภาพที่ 4.2	บ่อทดลองปลูกผักบุงที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	46
ภาพที่ 4.3	บ่อทดลองปลูกผักบุงที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	46
ภาพที่ 4.4	บ่อทดลองปลูกผักกระเฉดที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	47
ภาพที่ 4.5	บ่อทดลองปลูกผักกระเฉดที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	48
ภาพที่ 4.6	บ่อทดลองปลูกผักกระเฉดที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	48
ภาพที่ 4.7	บ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	49
ภาพที่ 4.8	บ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.9 บ่อควบคุมที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	50
ภาพที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็น (มก./ล) ที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	57
ภาพที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	56
ภาพที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็น (มก./ล) ที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	59
ภาพที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	59
ภาพที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็น (มก./ล) ที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	60
ภาพที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	61
ภาพที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.) ที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	62
ภาพที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	63
ภาพที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.) ที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	64
ภาพที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	64
ภาพที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.) ที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	65
ภาพที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	66
ภาพที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.) ที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	67
ภาพที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10 วัน.....	68
ภาพที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.) ที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	69
ภาพที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 15 วัน.....	70
ภาพที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.) ที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	71
ภาพที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 20 วัน.....	72

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา มีพนักงานฝ่ายผลิตประมาณ 6,000 คน มีปริมาณน้ำเสียประมาณ 250 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งน้ำเสียของโรงงานแบ่งเป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต โรงอาหาร ห้องน้ำ และจากการทำความสะอาดพื้นโรงงาน คุณลักษณะน้ำเสียของโรงงานมีลักษณะเป็นน้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) ซึ่งจะประกอบไปด้วยความสกปรกในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ ค่าความสกปรกทางชีวภาพ (BOD) ไขมัน และน้ำมันต่างๆ (Grease & Oil) ตะกอนของแข็งต่างๆ (Solid) และรวมถึงธาตุอาหารต่างๆ (Nutrient) อันได้แก่ ธาตุไนโตรเจน (N) และธาตุฟอสฟอรัส (P) (ส.นท. 2545: 2) ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่าย (Algae Bloom) ในแหล่งน้ำ จากประสบการณ์ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ผ่านมามีพบว่าน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส ที่ถูกกักเก็บไว้ในบ่อพักน้ำเพื่อรอการนำกลับมาใช้ใหม่จะเกิดภาวะสาหร่ายสีเขียวหรือเบ่งบาน (Algae bloom) ซึ่งทำให้เกิดสภาพที่ไม่น่าดู และไม่สามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้ ซึ่งปัญหาดังกล่าวเกิดจากน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของโรงงานยังคงมีปริมาณสารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสหลงเหลืออยู่ประมาณ 20-70 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 4-7 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ แม้จะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนดแต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติของค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำแล้วถือว่าเกินค่าวิกฤติ เคยมีรายงานว่าค่าวิกฤติ (Critical value) ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำเท่ากับ 0.05-0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.007-0.03 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ หากเกินค่านี้แล้วก็จะสามารถเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันได้ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ 2545: 9)

บึงประดิษฐ์ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยกระบวนการทางธรรมชาติกำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว แต่ต้องการลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสก่อนระบายออกสู่แหล่งรองรับน้ำทิ้ง ซึ่งข้อดีของระบบนี้คือ ไม่ซับซ้อนและไม่ต้องใช้เทคโนโลยีในการบำบัดสูง ดังนั้นเพื่อการลดปริมาณสารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้าที่ทำการศึกษา จึงได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการลดสารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส โดยใช้ผักบึงและผักกระเฉด เนื่องจากเป็นพืช

ที่สามารถหาได้ง่าย เจริญเติบโตได้เร็ว มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี เหมาะสมที่จะใช้ใน ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือผิวดิน แต่มีข้อจำกัด คือ เป็นพืชน้ำที่สามารถนำมาบริโภคได้ ดังนั้นจึงควรใช้บำบัดน้ำทิ้งที่ไม่มีสาร โลหะหนักปนเปื้อนอยู่เท่านั้น และควรมีข้อกำหนด หรือ กฎระเบียบในการห้ามนำไปบริโภคเพื่อป้องกันปัญหาการสะสมสารพิษในร่างกาย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

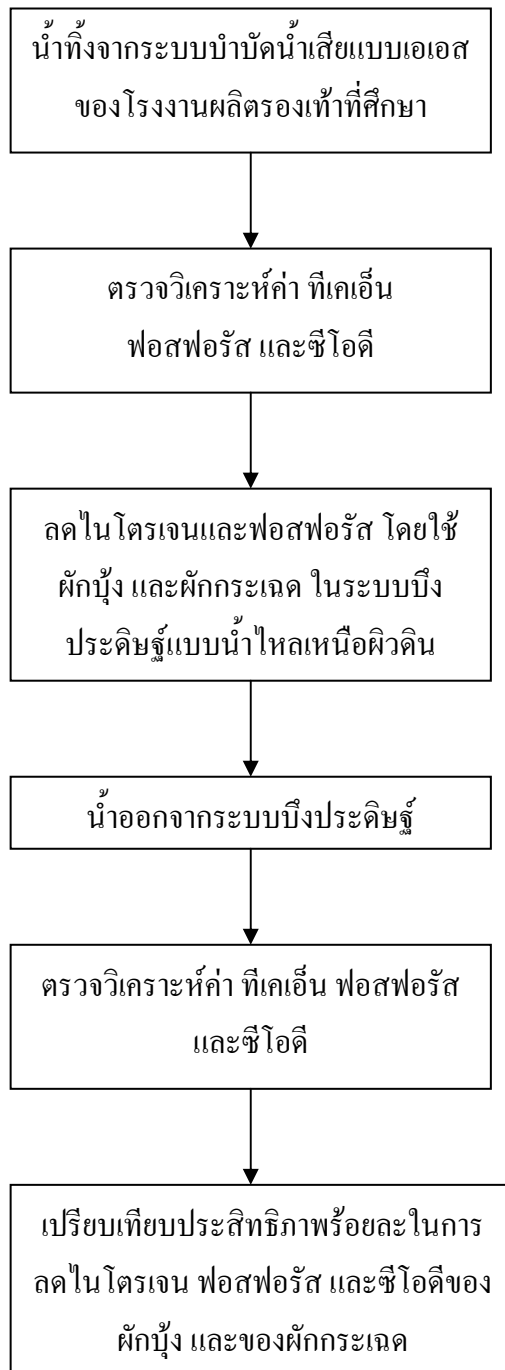
2.1 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผักบุ้งและของผักกระเฉดในการลดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส

2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้กับการไม่ใช้ผักบุ้ง และการใช้กับการไม่ ใช้ผักกระเฉด ในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส

2.3 เพื่อหาระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่เหมาะสมในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสโดยการใช้ผักบุ้งและผักกระเฉด

2.4 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจาก ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้งและของผักกระเฉด

3. กรอบแนวคิดของการวิจัย



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

4. สมมติฐานการวิจัย

4.1 ผักบุ้งและผักกระเฉด สามารถลดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสได้

4.2 การใช้ผักบุ้งและการใช้ผักกระเฉดมีประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงกว่าการไม่ใช้ผักบุ้งและการไม่ใช้ผักกระเฉด

4.3 ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพของผักบุ้งและของผักกระเฉดในการลดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส

4.4 ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง และของผักกระเฉดมีผลต่อประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส

5. ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ทำการศึกษาการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส โดยใช้ผักบุ้ง (*Ipomea aquatica* Forsk.) และผักกระเฉด (*Neptunia oleracea* Lour.) ในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลอยู่เหนือผิวดิน น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส ของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา ซึ่งมีค่าทีเคเอ็น ประมาณ 20-70 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสฟอรัสประมาณ 1-7 มิลลิกรัมต่อลิตร วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ลดลงในรูปของทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen: TKN) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus: TP) รวมถึงวิเคราะห์ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD) โดยลักษณะของน้ำทิ้งที่วิเคราะห์จะนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่ระบายออกนอกโรงงานตามที่กฎหมายกำหนด

6. ตัวแปรที่ศึกษา

6.1 ตัวแปรต้น

6.1.1 ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ (*Hydraulic Retention Time: HRT*) คือ HRT 10, 15 และ 20 วัน

6.1.2 ชนิดพืช คือ ผักบุ้ง ผักกระเฉด

6.1.3 ช่วงอายุการเจริญเติบโต คือ ช่วงอายุการเจริญเติบโตที่ 20, 40 และ 60 วัน

6.2 ตัวแปรตาม

6.2.1 ค่าทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และซีโอดี

6.3 ตัวแปรควบคุม

6.3.1 ระดับน้ำในระบบที่ 0.2 เมตร

6.3.2 ค่าความสกปรกของน้ำเข้าระบบ คือ ค่า ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และ ซีโอดีเป็นค่าตามจริงที่ใช้ในการทดลอง

6.3.3 ความหนาแน่นของพีชเริ่มต้น คือ 1.98 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร

6.3.4 ชั้นดินที่ให้พีชยึดเกาะ คือ ดินร่วนปนทรายหนา 10 เซนติเมตร

6.4 ปัจจัยสภาพแวดล้อมทั่วไป

6.4.1 อุณหภูมิของน้ำ

6.4.2 สภาพภูมิอากาศ

7. นิยามศัพท์

7.1 น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสของโรงงานผลิต รองเท้าที่ศึกษา

7.2 น้ำหนักเปียก หมายถึง น้ำหนักของพีชน้ำหลังนำขึ้นจากน้ำ และวางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำประมาณ 5 นาที

7.3 ประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี หมายถึง ความสามารถของผักบึงและของผักกระเฉดในการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและซีโอดีในน้ำทิ้ง คิดเป็นร้อยละดังนี้

$$7.3.1 \text{ ร้อยละของการลดไนโตรเจน} = \frac{(\text{ค่า TKN น้ำเข้า} - \text{ค่า TKN น้ำออก}) \times 100}{\text{ค่า TKN น้ำเข้า}}$$

$$7.3.2 \text{ ร้อยละของการลดฟอสฟอรัส} = \frac{(\text{ค่า TP น้ำเข้า} - \text{ค่า TP น้ำออก}) \times 100}{\text{ค่า TP น้ำเข้า}}$$

$$7.3.3 \text{ ร้อยละของการลดซีโอดี} = \frac{(\text{ค่า COD น้ำเข้า} - \text{ค่า COD น้ำออก}) \times 100}{\text{ค่า COD น้ำเข้า}}$$

7.4 ระยะเวลาพักพิชผลศาสตร์ หรือ เวลาพักพิชผลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time) หมายถึง ระยะเวลาที่น้ำถูกกักพิชในถังที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง มีค่าเท่ากับ ปริมาตรต่อ อัตราไหล มีหน่วยเป็นวัน

7.5 อัตราภาระการบำบัดหรืออัตราภาระอินทรีย์ (Organic Loading Rate) หมายถึง อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อขนาดระบบบำบัด มีหน่วยเป็น กก./ ตร.ม.-วัน

7.6 อัตราภาระชลศาสตร์ (Hydraulic Loading) หมายถึง ค่ากำหนดในการออกแบบ ขนาดระบบบำบัดเพื่อรองรับน้ำเข้าระบบได้เหมาะสม มีหน่วยเป็น เมตรต่อวัน

8. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

8.1 นำไปใช้ในการออกแบบระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือผิวดินที่ใช้ผักบุง และผักกระเฉดในการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบ บำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา ซึ่งจะทำให้ลดปัญหาเรื่องการเจริญเติบโต ของสาหร่ายอย่างรวดเร็วจนทำให้น้ำมีสีเขียวเกิดสภาพไม่น่าดู และไม่สามารถนำน้ำทิ้งที่กักเก็บไว้ มาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้

8.2 เป็นการลดความเสี่ยงในการละเมิดกฎหมายในกรณีที่คุณภาพน้ำทิ้งไม่เป็นไปตาม มาตรฐานที่กฎหมายกำหนดในส่วนของค่าบีโอดี และซีโอดี ที่อาจจะสูงขึ้น ได้อันเนื่องมาจาก สาหร่ายที่แขวนลอยอยู่ในน้ำทิ้ง

8.3 ใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียสำรองในกรณีที่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงาน มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียลดลงจนไม่สามารถบำบัดน้ำเสียตามมาตรฐานที่กฎหมายกำหนดได้

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาค่าการใช้ฟักบุงและฝักกระเจดในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสมีวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. ผลกระทบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส
2. บึงประดิษฐ์
3. ฟักบุงและฝักกระเจด
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ผลกระทบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

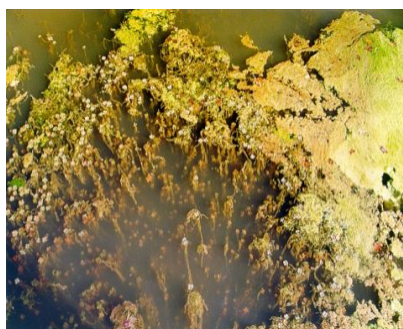
1.1 ความต้องการออกซิเจนของไนโตรเจน น้ำเสียชุมชนของประเทศไทยมีลักษณะไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับว่าเป็นน้ำเสียสด (fresh) หรือดิบ (raw) จากอาคารชุด หรือเป็นน้ำเสียที่ผ่านบ่อเกรอะมาแล้ว หรือเป็นน้ำเสียที่มีน้ำใต้ดินและน้ำฝนเข้ามาปะปนมาก (หรือน้อย) หรือเป็นน้ำเสียที่ถูกหมัก (ferment) และ/หรือย่อย (digest) มาแล้วในระบบท่อ ฯลฯ ความเข้มข้นของบีโอดีและอื่นๆ จึงแปรผันไปตามสภาพของท้องถิ่น อย่างไรก็ตามระบบบำบัดน้ำเสียแบบเดิมที่มุ่งกำจัดเฉพาะบีโอดีไม่สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ ถ้าระบบบำบัดเหล่านี้ลดบีโอดีจาก 100 ไปเป็น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามมาตรฐาน จะลดความต้องการออกซิเจนในลำนํ้าลงเพียง 80 มิลลิกรัม O_2 ต่อลิตรนํ้า แต่ถ้าไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์และแอมโมเนีย หรือที่เรียกว่าค่าทีเคเอ็น (TKN) ถูกปล่อยลงลำนํ้าในอัตรา 30 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรแล้วจะเกิดความต้องการออกซิเจนออกมาเพื่อมาออกซิไดซ์สารไนโตรเจนนี้ให้เป็นไนเตรต (เรียกว่า Nitrogenous Oxygen Demand; NOD หรือความต้องการออกซิเจนโดยไนโตรเจน) เท่ากับ $30 \times 4.57 = 137$ มิลลิกรัม O_2 ต่อลิตร ซึ่งเห็นได้ชัดว่าค่าความต้องการของออกซิเจนนี้มากพอๆ หรือมากกว่าค่าความต้องการออกซิเจนจากสารอินทรีย์คาร์บอน (หรือ บีโอดี) เสียอีก (ชงชัย พรรณสวัสดิ์ 2545: 3)

1.2 โรคเด็กตัวเขียว หากมีไนโตรเจนถูกระบายลงสู่ลำนํ้า และไนโตรเจนเหล่านั้นถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรตจนหมดสิ้น โดยลำนํ้านั้นมีประสิทธิภาพการเติมอากาศจากบรรยากาศดี มาก จนทำให้ยังมีค่าออกซิเจนละลายนํ้า (DO) อยู่มากพอที่สิ่งมีชีวิตในนํ้าจะยังคงดำรงอยู่ได้อย่างเดิม ปัญหาจากธาตุอาหารนี้ก็มิใช่จะหมดไป เพราะไนเตรตในลำนํ้าจะสามารถแทรกตัวไปสู่บ่อต้น

หรือน้ำบาดาลใกล้เคียง ซึ่งหากชุมชนนำน้ำนั้นมาใช้บริโภค ก็จะเกิดปัญหาทางสาธารณสุขอีกประการตามมา นั่นคือโรคเด็กตัวเขียว หรือ Blue baby ซึ่งเกิดจากการที่เด็กอ่อนบริโภคน้ำที่มีไนเตรตสูงเกินไป โดยไนเตรตจะไปลดรูปเป็นไนโตรเจนในตัวของเด็กและเมื่อถูกส่งถ่ายไปกับโลหิตแดงก็จะไปแย่งออกซิเจนจากโลหิตแดงนั้นๆ จนเกิดเป็นโลหิตดำที่ขาดออกซิเจน ทำให้เด็กมีอาการตัวเขียวและเสียชีวิตได้ จึงเรียกว่าโรคเด็กตัวเขียว หนึ่งองค์การอนามัยโลก (WHO 1984) การประมาณครหลวง กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2524) กระทรวงอุตสาหกรรม (2521) และสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (2521) ของประเทศไทยต่างก็กำหนดค่ามาตรฐานของไนเตรตในน้ำดื่มไว้ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร หรือ 45 มิลลิกรัมไนเตรตต่อลิตร (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ 2545: 5)

1.3 ความเป็นพิษของแอมโมเนียและไนไตรต์ หากน้ำเสียที่ถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำอยู่ในสภาพรีดิวัช หรือเซพติก และถ้าพีเอชของแหล่งน้ำสูงพอ เช่น มากกว่าหรือเท่ากับ 8 เกลือแอมโมเนียในน้ำเสียจะถูกแปรสภาพเป็นแอมโมเนียอิสระซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำได้มาก องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกาได้รายงานว่ามีแอมโมเนียอิสระเพียง 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็สามารถเป็นพิษรุนแรงต่อปลาหลายชนิดได้ องค์การฯ ดังกล่าวจึงได้ตั้งค่ากำหนด (Criterion) เพื่อพิทักษ์สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำจืด สำหรับแอมโมเนียอิสระในแหล่งน้ำเป็นค่าตายตัว แต่ได้กำหนดว่าให้ขึ้นกับค่าพีเอชและอุณหภูมิของน้ำด้วย (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ 2545: 6)

1.4 ยูโทรฟิเคชัน หากมีธาตุอาหารไนโตรเจนและ/หรือฟอสฟอรัสมากเกินไปในแหล่งน้ำปิด เช่น อ่างเก็บน้ำหรือทะเลสาบ หรือหนองบึงที่มีเวลากักน้ำมากกว่า 20 วัน ก็จะเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันขึ้นได้ ดังภาพที่ 2.1 ทำให้น้ำประปามีกลิ่นคาวของสาหร่าย หรือปลาตายในช่วงกลางคืน (ที่ไม่มีการสังเคราะห์แสงและค่าดีไอออกลงจนถึงศูนย์) (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ 2545: 9)



ภาพที่ 2.1 ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน

1.5 ผลสืบเนื่องจากยูโทรฟิเคชัน นอกจากปัญหายูโทรฟิเคชันที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ภาวะสาหร่ายสะพรั่งหรือเบ่งบาน (Algae bloom) ยังมีศักยภาพที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในรูปอื่นตามมาอีกด้วย กล่าวคือธาตุอาหารที่ปล่อยทิ้งลงไปนี้จะก่อให้เกิดการเจริญเติบโตของ สาหร่าย ซึ่งเมื่อตกจมลงสู่ก้นบ่อจะเกิดการย่อยสลายทางธรรมชาติขึ้น สารอินทรีย์จากซากสาหร่าย พวกนี้ก็จะสามารถทำให้ค่าดีโอในน้ำลดลงได้มาก ดังนี้ (ชงชัย พรรณสวัสดิ์ 2545: 10)

1.5.1 ค่าซีโอดีในน้ำเสียชุมชนไทยปกติ เฉลี่ยเท่ากับ 200-500 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.5.2 ค่าไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนไทย เฉลี่ยเท่ากับ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้า ไนโตรเจนถูกแอลจีใช้ไปอย่างสมบูรณ์ และนำไปผลิตเป็นมวลชีว โดยกระบวนการสังเคราะห์แสง จนหมด และถ้าสมมุติว่าองค์ประกอบของแอลจีเป็น $C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}P$ แล้ว จะคำนวณได้ว่า ไนโตรเจน 1 กรัมมีศักยภาพกระตุ้นให้เกิดแอลจีหรือสาหร่ายได้ 16 กรัมของมวลแอลจี ซึ่งสมมูลกับ ค่าซีโอดี 20 กรัม ดังนั้นน้ำเสียชุมชนจะมีซีโอดี ที่เกิดจากแอลจีอันเนื่องมาจากไนโตรเจนสูงถึง $20 \times 30 = 600$ มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมากกว่าซีโอดีของน้ำเสียชุมชนเสียอีก

1.5.3 ค่าฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนไทย สมมุติเฉลี่ยเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตรใน ทำนองเดียวกับไนโตรเจน ฟอสฟอรัส 1 กรัม สามารถกระตุ้นให้เกิดแอลจีได้ถึง 113 กรัมมวลชีวซึ่ง เทียบเป็นซีโอดีได้เท่ากับ 138 กรัม ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าซีโอดีที่เกิดจากฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน ไทยนั้นคิดได้เป็น $138 \times 5 = 690$ มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าค่าซีโอดีของน้ำเสียดิบอย่างมากมาย เช่นกัน ถึงแม้ว่าชีวมวลของแอลจีจะย่อยสลายทางชีววิทยาได้ช้า แต่เมื่อมวลแอลจีตกจมลงสู่ก้น แหล่งน้ำกลายเป็นตะกอนกันอ่างแล้ว มวลเหล่านี้ก็จะสามารถเกิดการย่อยสลายในระยะยาวได้ ซึ่ง ผลที่สุดแล้วก็จะเกิดเป็นความต้องการออกซิเจนกระจายเข้าสู่มวลน้ำในอ่างเก็บน้ำและทำให้ค่าดีโอ ในอ่างเก็บน้ำลดลงจนเกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำและสิ่งมีชีวิตอื่นๆในน้ำได้ การกำจัดธาตุอาหาร โดยเฉพาะฟอสฟอรัส (ซึ่งเป็นสารที่สะสมและหมุนเวียนอยู่ในระบบแหล่งน้ำปิดได้) จึงมีความ จำเป็นอย่างยิ่งยวดในภาวะปัจจุบันที่แหล่งน้ำสะอาดนับวันจะลดน้อยลงทุกที หนึ่งไนโตรเจนหรือ ฟอสฟอรัสนี้ เมื่อเทียบกับสารหรือธาตุอาหารที่จำเป็นอื่นๆ เช่น กำมะถัน โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมแล้ว แอลจีต้องการมวลของสองธาตุแรกมากกว่าธาตุอื่นๆมาก ดังนั้นไนโตรเจนหรือ ฟอสฟอรัสตัวใดตัวหนึ่งก็สามารถเป็น “ธาตุอาหารจำกัด” (Limit nutrient) ที่จะควบคุมอัตราการเกิด ยูโทรฟิเคชันได้ ทั้งนี้จากประสบการณ์ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาในสหรัฐ พบว่า ฟอสฟอรัสมักเป็นตัว ควบคุมหรือเป็นธาตุอาหารจำกัดในแหล่งน้ำจืดปิดขณะที่ไนโตรเจนมักเป็นธาตุอาหารจำกัดใน บริเวณปากแม่น้ำ (Estuarine) และในทะเล สำหรับแหล่งน้ำจืดถ้ามีเพียงการกำจัดไนโตรเจนและไม่ มีการกำจัดฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสีย ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำอาจสูงพอที่จะกระตุ้นให้เกิดแอลจี สะพรั่งได้ ทั้งนี้เพราะสาหร่ายน้ำเงินแกมเขียวที่เจริญเติบโตได้ดีในน้ำจืดสามารถตรึงไนโตรเจนจาก อากาศได้ ทำให้ต้นทุนไนโตรเจนเพิ่มขึ้น การกำจัดฟอสฟอรัสจึงจำเป็นมากในแหล่งน้ำจืดปิด

1.6 ปัญหาของโรงงานจากไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้ง

1.6.1 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา

1) แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

- (1) จากกระบวนการผลิต
- (2) จากโรงอาหาร
- (3) จากห้องน้ำ
- (4) จากการล้างพื้น โรงงาน
- (5) จากระบบผลิตน้ำประปา และน้ำดื่ม
- (6) จากหม้อไอน้ำ

2) ปริมาณน้ำเสีย ประมาณ 250 ลบ.ม. ต่อวัน

3) ลักษณะน้ำเสีย น้ำเสียของโรงงานเป็นน้ำเสียซึ่งมีความสกปรกในรูป

ความสกปรกทางชีวภาพดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์
พีเอช	7.3
ของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	88.0
ของแข็งละลายน้ำ (มก./ลิตร)	830.0
บีโอดี (มก./ลิตร)	217.2
ซีโอดี (มก./ลิตร)	384.16
ทีเคเอ็น (มก./ลิตร)	70.0
ฟอสฟอรัส (มก./ลิตร ของ P)	6.79
ไขมันและน้ำมัน (มก./ลิตร)	11.2
เหล็ก (มก./ลิตร ของ Fe)	1.32

ที่มา : อีสเทิร์นไทยคอนซัลติง 1992 (2546) รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา ชลบุรี อีสเทิร์นไทยคอนซัลติง 1992

4) รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานเป็นระบบเอเอสแบบ Extended Aeration ซึ่งออกแบบให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียอยู่ในช่วง Endogenous

Phase จึงให้ค่า F/M ต่ำ และเวลาในการเติมอากาศยาวนาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด และ
 ต้องให้ Activated Sludge ส่วนเกินที่ต้องการแยกออกมากำจัดมีน้อยที่สุด เพราะต้องการลดค่า
 ก่อสร้างระบบบำบัดตะกอนส่วนเกิน(ส.นภ 2545: 32)

5) องค์ประกอบของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงาน มีดังนี้

(ส.นภ 2545: 32)

(1) ถังปรับสภาพน้ำเสีย (Equalization Tank) สำหรับกักเก็บน้ำเสียในช่วงที่มี
 การระบายน้ำเสียสูงสุด (peak flow) และปรับสภาพน้ำเสียให้เข้ากัน

(2) ถังเติมอากาศ (Aeration Tank) สำหรับเติมอากาศเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย เพื่อ
 ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

(3) ถังสร้างตะกอน (Flocculation Tank) สำหรับช่วยให้เกิดการรวมตัวของ
 ตะกอนได้ดีขึ้น โดยการเติมสารช่วยในการตกตะกอน

(4) ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) สำหรับแยกน้ำใสและตะกอนออก
 จากกัน

(5) ถังฆ่าเชื้อโรค (Chlorine Contact Tank) สำหรับช่วยให้เกิดการฆ่าเชื้อโรค
 (Disinfection) ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดก่อนระบายออกสู่ภายนอกโรงงาน โดยการใช้คลอรีน (Chlorine)

(6) ถังเพิ่มความเข้มข้นของตะกอน (Sludge Thickener) สำหรับช่วยให้
 ตะกอนที่รอการกำจัดมีความเข้มข้นมากขึ้น โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก

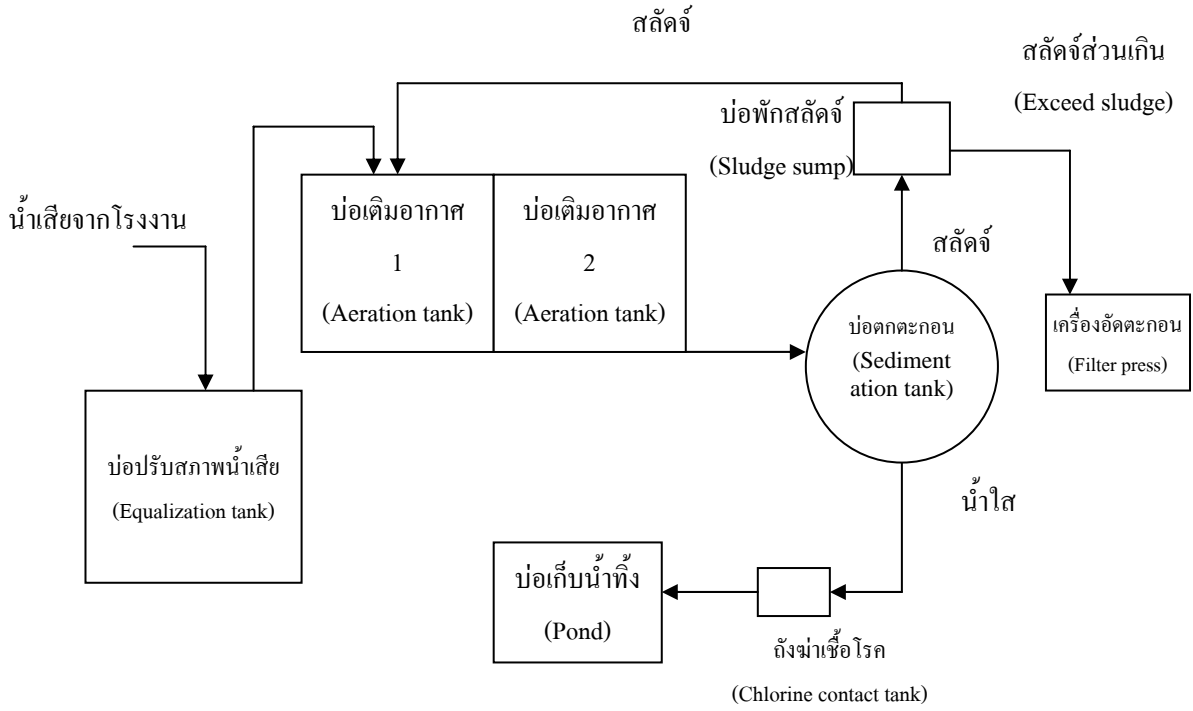
(7) เครื่องอัดตะกอน (Filter press) สำหรับเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนก่อน
 นำไปกำจัดทิ้ง โดยอาศัยการอัดด้วยความดันสูง

(8) ถังพักน้ำเสียเคมี (Chemical sump) สำหรับพักน้ำเสียที่มีสารเคมีเข้มข้น
 เพื่อรอการกำจัด หรือรอการจัดส่งไปบำบัดภายนอกโรงงาน

(9) ถังผสมสารเคมี (Chemical Tank) สำหรับใช้ผสมสารเคมีเพื่อใช้ในการ
 บำบัดน้ำเสีย

6) การเดินระบบและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัด จาก
 ภาพที่ 2.2 น้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆของโรงงานจะถูกรวบรวมลงสู่บ่อปรับสภาพน้ำเสีย
 (Equalization tank) เพื่อปรับสภาพน้ำเสียให้เข้ากัน และควบคุมอัตราการไหลให้สม่ำเสมอ หลังจากนั้น
 นั้นจะถูกส่งไปบำบัดที่บ่อเติมอากาศ 1 และ บ่อเติมอากาศ 2 (Aeration tank) ซึ่งใช้จุลินทรีย์ในการ
 บำบัดน้ำเสีย ผ่านบ่อตกตะกอนเพื่อแยกสลัดจ์ออกจากน้ำใส สลัดจ์จะถูกกักเก็บไว้ในบ่อพักสลัดจ์
 โดยสลัดจ์บางส่วนจะถูกหมุนเวียนไปยังบ่อเติมอากาศ และสลัดจ์ส่วนเกินจะถูกนำไปทำชันและอัด
 โดยเครื่องอัดตะกอน (Filter press) และถูกนำไปกำจัดโดยวิธีการฝังกลบตามกฎหมาย ในส่วนของ
 น้ำใสที่ไหลล้นจากบ่อตกตะกอนจะถูกส่งไปยังถังฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน และถูกกักเก็บในบ่อพักน้ำ

ที่ผ่านการบำบัดแล้วของโรงงานเพื่อรอกำลึกลับมาใช้ใหม่ สำหรับคุณลักษณะของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานที่ศึกษาแสดงในตารางที่ 2.2 , 2.3 และ 2.4



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา

พารามิเตอร์	หน่วย	ผลการวิเคราะห์	มาตรฐาน
บีโอดี	มก./ลิตร	10.6	≤ 20
คลอรีนอิสระ	มก./ลิตร	ไม่มีเลย	≤ 1.0
โครเมียมไตรวาเลนต์	มก./ลิตร ของ Cr ³⁺	ไม่มีเลย	≤ 0.75
โครเมียมเฮกซะวาเลนต์	มก./ลิตร ของ Cr ⁶⁺	ไม่มีเลย	≤ 0.25
ซีโอดี	มก./ลิตร	89.98	≤ 120
สี	แพลตตินัมโคบอลต์	33.93	ไม่มี
ไขมันและน้ำมัน	มก./ลิตร	ไม่มีเลย	≤ 5.0
ซัลไฟด์	มก./ลิตร ของ H ₂ S	ไม่มีเลย	≤ 1.0
ทีเคเอ็น	มก./ลิตร	21.14	≤ 100
พีเอช	ไม่มี	6.99	5.5-9
ของแข็งละลายน้ำ	มก./ลิตร	586	≤ 3,000
ของแข็งแขวนลอย	มก./ลิตร	19	≤ 50
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	25	≤ 40
สารหนูทั้งหมด	มก./ลิตร ของ As	0.009	≤ 0.25
แคดเมียมทั้งหมด	มก./ลิตร ของ Cd	< 0.03	≤ 0.03
คอปเปอร์ทั้งหมด	มก./ลิตร ของ Cu	< 0.10	≤ 2.0
ตะกั่วทั้งหมด	มก./ลิตร ของ Pb	< 0.10	≤ 0.2
แมงกานีสทั้งหมด	มก./ลิตร ของ Mn	0.19	≤ 5.0
ปรอททั้งหมด	มก./ลิตร ของ Hg	< 0.002	< 0.005
นิกเกิลทั้งหมด	มก./ลิตร ของ Ni	< 0.10	≤ 1.0
สังกะสีทั้งหมด	มก./ลิตร ของ Zn	0.09	≤ 5.0
ออร์แกโนคลอรีน	พีพีบี	ไม่มีเลย	ต้องไม่มีเลย
แบเรียม	มก./ลิตร ของ Ba	0.06	≤ 1.0
ไซยาไนด์	มก./ลิตร ของ HCN	ไม่มีเลย	≤ 0.20

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

พารามิเตอร์	หน่วย	ผลการวิเคราะห์	มาตรฐาน
ฟอร์มาลดีไฮด์	มก./ลิตร	ไม่มีเลย	≤ 1.0
ฟีนอลและครีซอล	มก./ลิตร	< 0.01	≤ 1.0
ซีลีเนียม	มก./ลิตร ของ Se	0.0002	≤ 0.02

หมายเหตุ : มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2539

ที่มา : อีสเทิร์นไทยคอนซัลติง 1992 (2546) รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา ชลบุรี อีสเทิร์นไทยคอนซัลติง 1992

ตารางที่ 2.3 ปริมาณไนโตรเจนในน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดและน้ำทิ้งหลังจากผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา

เดือน	ปริมาณไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละในการบำบัด)
	น้ำเข้าระบบ	น้ำทิ้งจากระบบ	
สิงหาคม 2545	73.4	5.4	92.6
กันยายน 2545	80.24	12.26	84.7
ตุลาคม 2545	83.79	3.99	95.2
พฤศจิกายน 2545	71.38	1.73	97.6
ธันวาคม 2545	70	14	80.0
มกราคม 2546	73.8	48.1	34.8
กุมภาพันธ์ 2546	101.7	27.7	72.8
มีนาคม 2546	103.4	3.5	96.6
เมษายน 2546	119	1.2	99.0

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

เดือน	ปริมาณไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละในการบำบัด)
	น้ำเข้าระบบ	น้ำทิ้งจากระบบ	
พฤษภาคม 2546	86	12.4	85.6
มิถุนายน 2546	84.2	73.7	12.5

หมายเหตุ : ค่ามาตรฐานของค่าที่เคเอ็น คือ น้อยกว่า 100 มก./ลิตร

ค่าวิกฤตของไนโตรเจนที่ทำให้เกิดยูโทรฟิเคชัน คือ 0.05-0.2 มก./ลิตร

ที่มา : อีสเทิร์นไทยคอนซัลติง 1992 (2545-2546) รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งโรงงาน
ผลิตรองเท้าที่ศึกษา ชลบุรี อีสเทิร์นไทยคอนซัลติง 1992

ตารางที่ 2.4 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดและน้ำทิ้งหลังจากผ่านการบำบัดด้วย
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา

เดือน	ปริมาณฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละในการบำบัด)
	น้ำเข้าระบบ	น้ำทิ้งจากระบบ	
สิงหาคม 2545	7.4	7.21	2.6
กันยายน 2545	7.08	7.01	1.0
ตุลาคม 2545	7.11	6.86	3.5
พฤศจิกายน 2545	6.78	5.74	15.3
ธันวาคม 2545	6.79	5.35	21.2
มกราคม 2546	5	1.2	76.0
กุมภาพันธ์ 2546	1.11	0.48	56.8
มีนาคม 2546	4.68	2.3	50.9
เมษายน 2546	4.15	2.77	33.3

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

เดือน	ปริมาณฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละในการบำบัด)
	น้ำเข้าระบบ	น้ำทิ้งจากระบบ	
พฤษภาคม 2546	3.35	0.05	80.6
มิถุนายน 2546	3.8	1.9	50.0

หมายเหตุ : ไม่มีค่ามาตรฐานของฟอสฟอรัส

ค่าวิกฤตที่ทำให้เกิดยูโทรฟิเคชัน คือ 0.007-0.03 มก./ลิตร

ที่มา : อีสเทิร์นไทยคอนซัลติ้ง 1992 (2545-2546) รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง โรงงาน
ผลิตรองเท้าที่ศึกษา ชลบุรี อีสเทิร์นไทยคอนซัลติ้ง 1992

1.6.2 ปัญหาในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของโรงงาน จากตารางที่ 2.3

และ 2.4 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารไนโตรเจนทั้งหมดหรือค่าที่เคเอ็นกับค่ามาตรฐานพบว่ามีค่าไม่
เกินมาตรฐานในทุกเดือน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤตที่ทำให้เกิดยูโทรฟิเคชัน พบว่าทั้งปริมาณ
ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่หลงเหลืออยู่มีค่าเกินค่าวิกฤตในทุกเดือน ดังนั้นเมื่อน้ำทิ้งจากระบบ
บำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานถูกปล่อยลงบ่อพักน้ำเพื่อนำกลับไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ จะเกิด
การเจริญเติบโตของสาหร่ายอย่างรวดเร็ว (Algae bloom) ตามมา เป็นผลให้ไม่สามารถนำน้ำกลับมา
ใช้ใหม่ได้เนื่องจากจะเกิดกลิ่นเหม็นและมีสาหร่ายเป็นปริมาณมาก ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ภาวะสาหร่ายสะพรั่งหลังจากการเก็บกักน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์

2. บึงประดิษฐ์

บึงประดิษฐ์ คือ พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นที่ใดที่หนึ่ง โดยมีจุดประสงค์เพื่อบำบัดน้ำเสียทั้งจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งโดยส่วนมากจะใช้การบำบัดน้ำเสียชุมชนเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากสามารถช่วยลดปริมาณค่าบีโอดี ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และสารแขวนลอยได้ดีมากกว่าร้อยละ 50-60 ขึ้นไป

ระบบบึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่เลียนแบบกลไกการกำจัดของเสียตามธรรมชาติ คือ อาศัย ดิน น้ำ พืช และจุลินทรีย์ในการบำบัดของเสียในน้ำ

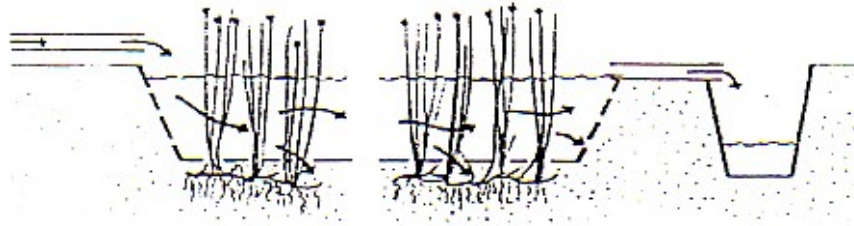
บึงประดิษฐ์มีการออกแบบก่อสร้างไม่ซับซ้อน การดูแลระบบไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีมากจึงไม่จำเป็นต้องใช้บุคลากรในการดำเนินระบบ มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อย ระบบมีความยืดหยุ่นสูงสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราภาระบรรทุกต่างๆ และสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้

2.1 ประเภทของบึงประดิษฐ์ ประเภทของบึงประดิษฐ์เพื่อการบำบัดน้ำเสียแบ่งตามลักษณะการไหลของน้ำในบึงประดิษฐ์ มี 2 ประเภท คือ

2.1.1 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน (Free Water Surface System: FWS) บึงประดิษฐ์แบบนี้การไหลของน้ำเสียจะเป็นไปในลักษณะตามแนวยาว (Plug flow) โดยบึงจะเป็นดินธรรมชาติมีพืชน้ำเกาะ บึงมีลักษณะยาวและแคบดังแสดงในภาพที่ 2.4

บึงประดิษฐ์จะประกอบด้วยบ่อดินที่น้ำไหลซึมลงดินได้น้อยอาจจะมีบ่อวางเรียงขนานกันหลายบ่อ มีระดับน้ำลึกประมาณ 10-60 ซม. โดยปล่อยให้ น้ำเสียเข้าระบบอย่างช้าๆ ผ่านก้านต้นพืชและรากพืช ซึ่งเป็นขั้นตอนหลักที่ทำการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้ การเติมอากาศในระบบมาจากพืช ลมพัด และจากการสังเคราะห์แสง ระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีค่าภาระบีโอดีปานกลางซึ่งไม่ควรเกิน 6 กรัมบีโอดี/(ม².วัน) ควรมีเวลากักเก็บประมาณ 14-15 วันและมีค่าภาระชลศาสตร์เท่ากับ 0.01-0.05 ม³./(ม³.วัน) (ศุวสา กานตวนิชกูร 2544: 4)

2.1.2 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow System: SFS) บึงประดิษฐ์แบบนี้จะบรรจุชั้นตัวกลางเพื่อให้รากพืชยึดเกาะ ตัวกลางที่ใช้ได้แก่ หินบด กรวด ดินและทราย ความหนาของชั้นตัวกลางประมาณ 60-70 ซม. ด้านล่างปูด้วยแผ่นโพลีเอทิลีน (Polyethylene : PE) เพื่อกันไม่ให้น้ำซึมลงสู่ใต้ผิวดิน ก้นบึงให้มีความลาดชันประมาณ 1 % เพื่อให้น้ำไหลลงและไม่เกิดการกักขัง และในบริเวณท้ายบ่อมีท่อเจาะรูเพื่อรับน้ำออกจากบึง ระบบนี้อาศัยการเติมอากาศด้วยพืชเป็นหลัก น้ำเสียจะถูกบำบัดเมื่อไหลผ่านตัวกลางและรากพืช ชั้นตัวกลางจะมีสถานะไร



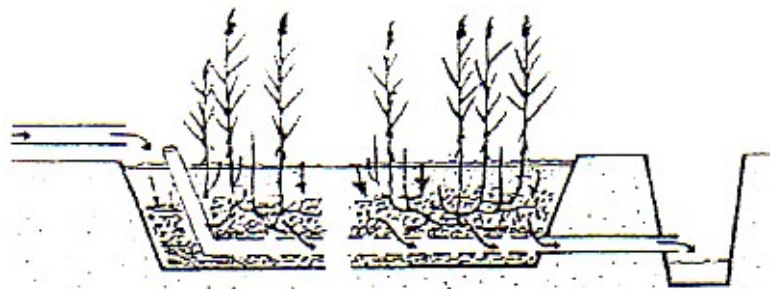
ภาพที่ 2.4 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน

ที่มา : สุวศา กานตวนิชกูร (2544) " การกำจัดไนโตรเจนโดยระบบ Combined Constructed Wetland ในเขตอากาศร้อน" รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภาควิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ออกซิเจน (anaerobic) แต่จุลินทรีย์จะใช้ ออกซิเจนจากรากพืชในการดำรงชีวิต (สุวศา กานตวนิชกูร 2544: 5)

บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน แบ่งได้ 2 ชนิดตามลักษณะการไหลดังนี้

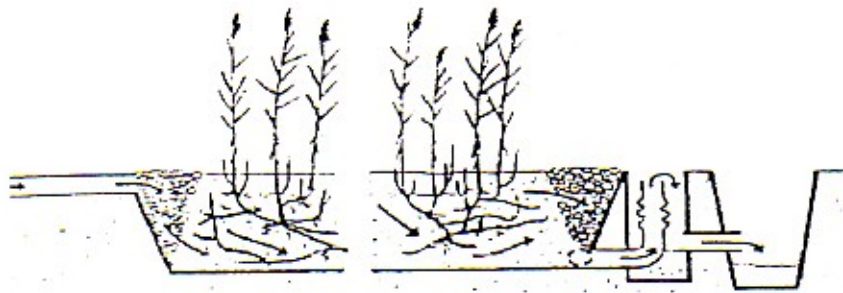
1) การไหลตามแนวตั้ง (*Vertical Subsurface Flow*) มีการกระจายน้ำทั่วพื้นที่ทั้งหมดของระบบ โดยน้ำเสียดังกล่าวจะไหลผ่านชั้นตัวกลางในแนวตั้งดังแสดงในภาพที่ 2.5 จะทำการเพิ่มออกซิเจนโดยให้น้ำแบบครั้งคราว (*Intermittent loading*) ทำให้ระบบเกิดสภาพมีอากาศ และไม่มีอากาศสลับกัน ซึ่งจะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (*Nitrification*) ดีไนตริฟิเคชัน (*Denitrification*) และการดูดซับฟอสฟอรัส (*P-adsorption*) ตามลำดับ



ภาพที่ 2.5 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวตั้ง

ที่มา : สุวศา กานตวนิชกูร (2544) " การกำจัดไนโตรเจนโดยระบบ Combined Constructed Wetland ในเขตอากาศร้อน" รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภาควิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

2) การไหลตามแนวราบ (Horizontal Subsurface Flow) ระบบมีลักษณะเช่นเดียวกับแบบการไหลแนวตั้งคือมีการปลูกด้วยแผ่นกันซึม และภายในบรรจุตัวกลาง เช่น หิน กรวด หรือทราย น้ำเสียจะไหลอย่างช้าๆ ผ่านตัวกลางในแนวราบ ดังแสดงในภาพที่ 2.6 ระหว่างที่ผ่านตัวกลางจะสัมผัสกับจุลินทรีย์ส่วนที่มีออกซิเจน (Aerobic zones) ซึ่งเกิดรอบๆ รากและชั้นรากพืช น้ำเสียจะถูกบำบัดโดยกระบวนการทางกายภาพและเคมีด้วย



ภาพที่ 2.6 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวราบ

ที่มา : สุชาติ กานตวนิชกูร (2544) " การกำจัดในโตรเจนโดยระบบ Combined Constructed Wetland ในเขตอากาศร้อน" รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภาควิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

2.2 องค์ประกอบของบึงประดิษฐ์

2.2.1 พืชที่ใช้ในบึงประดิษฐ์ พืชน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและเห็นเด่นชัดในพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยพืชที่ใช้ในบึงประดิษฐ์มีหลายชนิด เช่น ผักตบชวา (*Eichlornia crassipes*) ธูปฤาษี (*Typha latifolia*) ผักเป็ดน้ำ (*Alternanthera philoxeroides*) อ้อ (*Phragmites connumis*) แหน (*Lemma spp.*) เป็นต้น (สุชาติ ศรีเพ็ญ 2543: 3) แบ่งประเภทของพืชน้ำเป็น

1) พืชใต้น้ำ (*Submerged plants*) เป็นพวกที่มีการเจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำทั้งหมด อาจจะมีรากยึดกับพื้นดินใต้น้ำ หรือ ไม่มีก็ได้ บางชนิดทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ มีลำต้นบางส่วนและใบเจริญอยู่ใต้น้ำ พืชใต้น้ำบางชนิดจะส่งดอกเจริญที่ผิวน้ำ หรือ เหนือน้ำ และเมื่อดอกได้รับการผสมจนเป็นผลแล้ว บางชนิดผลจะกลับไปเจริญที่ผิวน้ำหรือใต้น้ำ พืชใต้น้ำมีประโยชน์มากเพราะจะคายก๊าซออกซิเจนให้กับแหล่งน้ำโดยตรง ขณะเดียวกันก็จะดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของสัตว์น้ำ ทำให้แหล่งน้ำนั้นอยู่ในสภาพสมดุล เช่น สาหร่ายหางกระรอก

2) **พืชโผล่เหนือน้ำ (Emerged plants)** เป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำ บางส่วนและเหนือน้ำบางส่วน โดยมีรากหรือทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ ส่วนของ ใบและดอกขึ้นมาเจริญเหนือน้ำ พืชพวกนี้บางชนิดพบว่าที่โคนต้นมีเนื้อเยื่อโปร่งๆสีขาว เรียกว่า aerenchymatous tissue ทำหน้าที่เก็บสะสมอากาศไว้เพื่อช่วยในการหายใจ เช่น พวกต้นเทียนนา บางชนิดพบว่ามีทั้งใบใต้น้ำและใบเหนือน้ำ เช่น พวกบัวสายบางชนิด

3) **พืชลอยน้ำ (Floating plants)** เป็นพืชที่เจริญลอยอยู่ที่ระดับน้ำ มีรากห้อย ลอยอยู่ในน้ำ ส่วนต้น ใบ และดอก เจริญปรึมน้ำหรือเหนือน้ำบางชนิดถ้าต้นตั้งเงิน รากอาจจะหยั่ง ยึดพื้นดินใต้น้ำก็ได้ ใต้น้ำที่มีขนาดเล็กมักลอยตัวได้อย่างอิสระ เช่น พวกแห่นางดำ พวกที่มีขนาด ใหญ่มักจะมีส่วนใดส่วนหนึ่งของพืชเปลี่ยนไปเป็นท่อนเพื่อพยุงให้ต้นพืชลอยน้ำอยู่ได้ เช่น ต้น ผักตบชวาที่มีส่วนของก้านใบพองตัวเป็นท่อน (Buoyancy leaf) ต้นผักบุ้งมีลำต้นที่ภายในกลวงเป็นช่อง อากาศใหญ่ ช่วยพยุงให้ต้นพืชลอยน้ำอยู่ได้

4) **พืชชายน้ำ (Marginal plants)** เป็นพืชที่มักขึ้นอยู่ตามชายน้ำริมตลิ่ง ชาย คลอง หนองน้ำ สระน้ำหรือทะเลสาบ ลักษณะโดยทั่วไปนั้นไม่มีรากหรือทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ใต้ ดิน ส่วนบางส่วนของต้น ใบและดอกเจริญเหนือน้ำ ใต้น้ำประเภทนี้ใกล้เคียงกับพวกพืชโผล่เหนือน้ำ มาก หรือบางอย่างก็เป็นทั้งพืชโผล่เหนือน้ำ และพืชชายน้ำ เช่น ต้นกกบางอย่าง เป็นต้น

2.2.2 บทบาทสำคัญของพืชน้ำในระบบบึงประดิษฐ์ การใช้สารอาหารของพืชเป็น บทบาทสำคัญในการกำจัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และมลสารอื่นๆ ในน้ำเสีย เช่น โลหะหนัก สารอินทรีย์กำจัดยาก เป็นต้น อัตราการใช้สารอาหารของพืชถูกกำจัดโดยอัตราเติบโตสุทธิ และ ความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อพืช ความเข้มข้นของสารอาหารในพืชมีค่าสูง (มากกว่า 25 กรัมต่อเนื้อเยื่อพืช) ในพืชที่มีอายุน้อยและลดลงเมื่อโตเต็มที่ (Reddy and Debusk, 1987) การบำบัด น้ำเสียโดยใช้พืชน้ำอาศัยปัจจัยหลัก คือ การเจริญเติบโตของพืชน้ำเอง และ จุลินทรีย์ซึ่งอาศัยอยู่ บริเวณรากของพืช ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำการย่อยสลายสารอาหาร เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ นอกจากนี้ยังอาศัยหลักการตกตะกอนของน้ำเสียเอง

2.2.3 ข้อดีของระบบบำบัดน้ำเสียโดยพืชน้ำ

- 1) สภาพภูมิประเทศของประเทศไทย เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชน้ำโดยทั่วไป
- 2) ระบบบำบัดน้ำเสียโดยพืชน้ำไม่ต้องการใช้พลังงานจากแหล่งใดๆ นอกจากพลังงานจากดวงอาทิตย์
- 3) การควบคุมการทำงานของระบบไม่ยุ่งยาก ไม่ต้องมีผู้ดูแลที่มีความรู้มาก
- 4) พืชน้ำที่เก็บเกี่ยวได้สามารถไปใช้ประโยชน์ได้เช่นทำปุ๋ยหมัก ผลิตแก๊ส มีเทน เป็นต้น ซึ่งหลักการการทำงานของพืชน้ำแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 หลักการทำงานของพืชลอยน้ำในการบำบัดน้ำทิ้ง

ส่วนประกอบของพืช	หลักการทำงานของพืช
ราก และ/ หรือ ก้าน หรือ ลำต้นที่อยู่ในน้ำ	<ul style="list-style-type: none"> - ดูดซับ (Up take) สารพิษและสารอาหาร - เป็นพืชน้ำ ให้จุลินทรีย์อาศัยและเจริญเติบโต - เป็นตัวกลางในการกรอง (Filtration) และดูดซับ (Absorption) ตะกอนและของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำ - ป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่ายในน้ำ
ก้าน ลำต้น และ/หรือ ใบ ที่อยู่เหนือน้ำ	<ul style="list-style-type: none"> - ลดผลกระทบของลมที่มีต่อน้ำ เช่น การทำให้ตะกอนที่จมอยู่ขุ่นขึ้นมา - ทำให้การส่งผ่าน (Transfer) ของก๊าซและความร้อนระหว่างบรรยากาศและน้ำลดลง

ที่มา : ศุวศา กานตวนิชกุล (2544) " การกำจัดไนโตรเจนโดยระบบ Combined Constructed Wetland ในเขตอากาศร้อน" รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภาควิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

2.2.4 ระดับน้ำ (Water Level) ในการดูแลรักษาระบบบึงประดิษฐ์ ต้องมีการรักษาระดับน้ำที่ปล่อยเข้าสู่ระบบ เพื่อให้พืชสามารถเจริญเติบโต และมีประสิทธิภาพในการบำบัด ตัวอย่าง คือ รูปถ่าย ที่เจริญเติบโตได้ดีในชั้นดินที่อยู่ใต้น้ำ และมีระดับน้ำลึกมากกว่า 15 ซม. หรือ กกที่สามารถเจริญได้ดีในน้ำที่ลึกกว่า 1.50 ม. เป็นต้น (Reed และคณะ) แนะนำว่า ระดับความลึกของน้ำที่มากที่สุดควรเป็น 10 ซม. ในช่วงอบอุ่น (ฤดูร้อน) และน้อยกว่า 45 ซม. ในช่วงหนาว ระดับความลึกของน้ำควรจะมีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสม

Cornwell (1997) ได้ทำการทดลองใช้ผักตบชวาดูดสารอาหารจาก secondary effluents ในรัฐแคลิฟอร์เนีย พบว่า ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเหมือนอยู่ในสภาพธรรมชาติ ในบ่อทดลองขนาดความลึก 0.34 เมตร ผักตบชวาสามารถดูดซึมไนโตรเจนได้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง สำหรับบ่อทดลองที่มีความลึกมากกว่าและใช้เวลาน้อยกว่าได้ผลไม่เป็นที่พอใจ ทั้งนี้พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดสารหรือเคลื่อนย้ายไนโตรเจนนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิว

โดยธรรมชาติของผักบุงและผักกระเฉดสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับน้ำลึก 20-30 ซม.

2.2.5 ชั้นดิน (Substrata) ในบึงประดิษฐ์ ชั้นดินที่ประกอบด้วยดิน ทราย และกรวด เป็นสิ่งจำเป็นที่จะช่วยเสริมการเจริญเติบโตของพืชโผล่เหนือน้ำ (Emergent plant) และยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดยึดติดที่อยู่ใต้น้ำด้วย

(จิตติมา เชื้อกุล 2545 : 19) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ต้นพุทธรักษาในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์โดยใช้ชั้นกรวดหนา 10 ซม. และชั้นของดินร่วนผสมทรายอัตราส่วน 3:1 หนา 20 ซม. สำหรับปลูกต้นพุทธรักษา

โดยธรรมชาติของผักบุงและผักกระเฉด สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนซุย

2.2.6 การถ่ายเทออกซิเจน (Oxygen Transfer) กลไกการส่งผ่านก๊าซในพืชของบึงประดิษฐ์อาจเกิดโดย Passive Molecular Diffusion ตามด้วย ความแตกต่างของความเข้มข้นภายใน Lacunal System และโดยการพาของอากาศ (Convection flow) ผ่านช่องว่างภายในของพืช

การแพร่ (Diffusion) เป็นกระบวนการที่มีการส่งผ่านจากส่วนหนึ่งของระบบไปยังอีกส่วนหนึ่ง อันเป็นผลให้มีการเคลื่อนย้ายของโมเลกุลแบบสุ่ม โดยการเคลื่อนย้ายสุทธิจะเกิดจากตำแหน่งที่มีความเข้มข้นสูง (หรือมี Partial Pressure สูง) ไปยังตำแหน่งที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า

กลไก การพาของก๊าซ (Convection) ในพืชประเภทลอยน้ำ เช่น บัวบางชนิด ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของ อุณหภูมิ และความดันไอน้ำ (Water vapor pressure) ของภายในใบและบรรยากาศรอบๆ อากาศจะถูกนำเข้าสู่ลำต้นใต้ดินและใบที่แก่จากนั้นจะวนกลับคืนสู่บรรยากาศอีกครั้งหนึ่งด้วยแรงขับ (Driving force) นี้เรียกว่า Thermal Transpiration และ Humidity- induced Pressurization ทั้งสองกระบวนการต้องมีช่องว่างที่พูนภายในเนื้อเยื่อพืช ซึ่งถ้าจะให้ดีที่สุด ต้องมีขนาดช่องว่างเล็กกว่าขนาดเฉลี่ยของทางแพร่ของโมเลกุลของก๊าซ (< 0.1 ไมโครเมตร) และมีการใช้พลังงานในรูปของความร้อน การเกิด Humidity- induced Pressurization ยังต้องการการให้น้ำที่คงที่ภายในพืชด้วย

Thermal Transpiration เป็นการเคลื่อนที่ของก๊าซผ่านส่วนที่พูนในพืช เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละส่วนซึ่งจะทำให้มีความแตกต่างของความดันเกิดขึ้น โดยความดันจะสูงกว่าในด้านที่ชื้นกว่าของอีกด้านหนึ่ง (ศุวศา กานตวนิชกูร 2544: 36)

2.2.7 จุลินทรีย์ (Microbial Organism) จุลินทรีย์ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีหลายชนิด เช่น แบคทีเรีย โปรโตซัว สาหร่าย เป็นต้น แบคทีเรียสามารถแบ่งได้ 2 ชนิดหลัก คือ ชนิดแขวนลอย (Suspended bacteria) คือ แบคทีเรียที่มีชีวิตอยู่บนผิวหน้าของน้ำ และชนิดยึดติด (Attached-growth bacteria) ซึ่งจะเจริญเติบโตโดยยึดติดกับพื้นผิวของส่วนที่อยู่ใต้น้ำของพืช (ราก, ลำต้น) ชากพืช หิน ดิน หรือชั้นตะกอนที่อยู่ล่างสุด

2.2.8 ระยะเวลาที่กักพัชชศาสตร์ (Hydraulic Retention Time: HRT) สามารถคำนวณหาค่าระยะเวลาที่กักพัชชศาสตร์และอัตราการไหลได้จาก

$$Q = LWdn / t$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำ (ลบ.ม./วัน)

L = ความยาวของบ่อ (ม.)

W = ความกว้างของบ่อ (ม.)

d = ความลึกของน้ำ (ม.)

n = ค่าคงที่แสดงช่องว่างภายในบ่อ (= 0.75 สำหรับระบบน้ำไหลพื้นผิว)

t = ระยะเวลาที่กักน้ำ (วัน)

2.2.9 ค่ากำหนดในการออกแบบบึงประดิษฐ์ ตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบบึงประดิษฐ์ ได้แก่ ระยะเวลาที่กักพัชชศาสตร์ ความลึกของน้ำ พื้นที่ อัตราการระการบำบัด อัตราการระชลศาสตร์ ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่ากำหนดการออกแบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือผิวดิน

รายการ	ค่าแนะนำ	
	ช่วง	ค่าทั่วไป
ขนาดพื้นที่ที่ต้องการขั้นต่ำ (เฮกตาร์/1000 ลบ.ม.* วัน)	2-7	
ความลึกสูงสุดของระดับน้ำ (ม.)		0.5
สัดส่วนขั้นต่ำของความยาวต่อความกว้างของบึง		2:1
ระยะเวลาที่กักพัชชศาสตร์สูงสุด (วัน)	4-15	
อัตราการระชลศาสตร์สูงสุด (ชม./วัน)	1.5-5.0	
อัตราการระการบำบัดสูงสุด		
- กก. บีโอดี/เฮกตาร์*วัน	< 110	
- กก. ไนโตรเจนทั้งหมด/เฮกตาร์*วัน		60

ที่มา : ฝ่ายวิศวกรรม องค์การการจัดการน้ำเสีย (2543) ค่าการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย กรุงเทพมหานคร องค์การการจัดการน้ำเสีย

2.3 กลไกการบำบัด กลไกการกำจัดที่สำคัญของบึงประดิษฐ์แสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 กลไกในการบำบัดน้ำเสียในบึงประดิษฐ์

องค์ประกอบในน้ำเสีย	กลไกการบำบัด
ของแข็งแขวนลอย	- การตกตะกอน / การกรอง
บีโอดี	- การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (aerobic and anaerobic) - การตกตะกอน
ไนโตรเจน	- ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน โดยจุลินทรีย์ - พืชนำไปใช้ - การระเหยของแอมโมเนีย
ฟอสฟอรัส	- ดูดซับโดยดิน (ปฏิกริยาดูดซับ-ตกตะกอนโดย aluminum, iron, calcium และ clay minerals ในดิน) - Plant uptake
เชื้อโรค	- การตกตะกอน / การกรอง - การตายตามธรรมชาติ - โดยรังสี UV - โดยสารปฏิชีวนะจากรากพืช

ที่มา : กลอชกาญจน์ เก้านตรสุวรรณ (2544) " การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.1 การกำจัดสารอินทรีย์ สารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนที่เป็นของแข็งจะตกตะกอนในบริเวณใกล้กับทางน้ำเข้าส่วนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทั้งที่ใช้ ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน การดูดซับสารอินทรีย์ของพืชถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกลไกการบำบัดอื่น จุลินทรีย์ต้องการแหล่งคาร์บอนและแร่ธาตุบางชนิดในการสร้างเซลล์ จุลินทรีย์สามารถแบ่งประเภทได้เป็นสองประเภทตามแหล่งของคาร์บอนที่ใช้ คือ จุลินทรีย์ในกลุ่มออโตโทรฟ (Autotrophs) ซึ่งใช้คาร์บอนไดออกไซด์และแสงเพื่อโรโทรฟ (Heterotroph) ซึ่งใช้คาร์บอนในสารอินทรีย์และมีอัตราการย่อยสลายที่เร็วทำให้จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้เป็นส่วนสำคัญในการบำบัดน้ำเสีย โดยในสภาพมีออกซิเจนจะมีอัตราการย่อยสลายที่เร็วกว่าการย่อยสลายที่ไม่ใช้ออกซิเจนจุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลายส่วนใหญ่จะเกาะอยู่กับผิวของแข็ง เช่น เม็ดทราย ลำต้นและรากของพืช การ

ย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนจะได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ส่วนในการย่อยสลายที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะแบ่งเป็น 2 ระยะ ในระยะแรกจะได้ผลผลิตเป็นกรดไขมัน คาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน ขั้นตอนต่อมาเป็นการสร้างมีเทนซึ่งจะทำงานได้ดีเฉพาะในพีเอช 6.5-7.5 เท่านั้น จุลินทรีย์จะรับออกซิเจนที่ส่งผ่านมารากพืชและจากการแพร่ลงสู่ผิวดินดังนั้นความลึกของดิน และความยาวของรากพืชจึงมีส่วนในการกำหนดลักษณะของการย่อยสลายที่จะเกิดขึ้น

2.3.2 การกำจัดสารแขวนลอย การลดปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำ เป็นผลมาจากกระบวนการที่ซับซ้อนหลายกระบวนการ รวมถึงการเคลื่อนย้ายของแข็งโดยสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยเฉพาะเมื่อน้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำมีความเร็วของน้ำต่ำ มีพืชน้ำปกคลุม มีดินที่เหมาะสมด้วยแล้วจะยิ่งช่วยในการกรองและการตกตะกอนของของแข็ง การกำจัดสารแขวนลอยจากน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำเป็นกระบวนการซึ่งทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น ซึ่งเป็นหน้าที่สำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำ

2.3.3 การกำจัดไนโตรเจน ในระบบบึงประดิษฐ์ไนโตรเจนจะถูกกำจัดจากน้ำเสียได้หลายวิธี เช่น การดูดซับ (Adsorption) การแลกเปลี่ยนประจุ การระเหยง่ายของแอมโมเนีย การดูดซึมและนำไปใช้โดยพืช และการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งถือว่าเป็นกลไกสำคัญในการกำจัดไนโตรเจนในระบบบึงประดิษฐ์

แม้ว่ากลไกการปลดปล่อยไนโตรเจน เช่น การระเหยง่ายของแอมโมเนีย ดีไนตริฟิเคชันการสะสมในพืช (รวมกับการเก็บเกี่ยว) การดูดซับแอมโมเนีย และการทับถมของสารอินทรีย์ไนโตรเจน รวมทั้งกระบวนการอื่นๆ เช่น แอมโมนิฟิเคชัน หรือไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นเพียงการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน แต่ไม่ได้กำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียโดยตรง เช่น แอมโมนิฟิเคชันจะเปลี่ยนอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนีย และยังทำให้เพิ่มปริมาณแอมโมเนียในระบบอีกด้วย (ศุภา กานตวนิชกูร 2544: 13)

1) การระเหยง่ายของแอมโมเนีย (Volatilization) อาจเป็นการกำจัดไนโตรเจนที่สำคัญในบึงประดิษฐ์ ถ้ามีสาหร่ายที่ช่วยให้พีเอชของน้ำสูงขึ้นซึ่งในสภาพเช่นนี้อาจมีพีเอช > 10 ในเวลากลางวัน

2) แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) กระบวนการนี้ไม่ช่วยในการกำจัดไนโตรเจน มักพบในระยะที่พืชมีการย่อยสลาย และพบในบึงประดิษฐ์ ทุกชนิด

3) ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) คล้ายกับแอมโมนิฟิเคชันที่ไม่สามารถกำจัดไนโตรเจนจากระบบได้ แต่การเกิดไนตริฟิเคชันร่วมกับดีไนตริฟิเคชัน เป็นกลไกหลักของการกำจัดไนโตรเจนในบึงประดิษฐ์

4) ในเตรทแอมโมนิฟิเคชัน (*Nitrate-ammonification*) ในบึงประดิษฐ์มีการศึกษากลไกนี้น้อยที่สุด กลไกนี้สามารถเกิดได้ในสภาพที่มีค่า Redox Potential ต่ำ หรือเกิดสภาพไร้ออกซิเจน เช่น ในระบบการไหลแนวราบ อย่างไรก็ตามกลไกนี้ไม่สามารถกำจัดไนโตรเจนได้

5) ดีไนตริฟิเคชัน (*Denitrification*) เป็นกลไกหลักของการกำจัดไนโตรเจนในบึงประดิษฐ์ซึ่งจำเป็นต้องมีปัจจัยอื่นๆ ที่เหมาะสมในการเกิดด้วย

6) การตรึงไนโตรเจน (*Fixation*) เมื่อมีการย่อยสลายของพืชหรือสัตว์ในบึงประดิษฐ์ในโตรเจนที่ถูกเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์จะถูกปล่อยลงในน้ำ กระบวนการนี้มักถูกตัดทิ้งไปในการประเมินการกำจัดไนโตรเจน และแทบจะไม่มีข้อมูลมีการวัดค่าไว้ ดูเหมือนว่าส่วนใหญ่จะเกิดจากการตรึงโดยสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (*Cyanobacteria*)

7) การสะสมในพืช (*Plant uptake*) เป็นกลไกการกำจัดที่สำคัญในระบบพืชลอยน้ำ (*free floating macrophytes*) ผลของการกำจัดจะประเมินที่ความถี่ของการเก็บเกี่ยวพืช ในพืชไหล่น้ำก็พบได้สูงแต่ส่วนมากจะไม่มีเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาที่มีการสะสมสูงสุด หรือไม่มีเก็บเกี่ยวใดๆเลย ซึ่งในเขตร้อนที่มีการสะสมอาหารแปรผันตามฤดูกาลน้อย การเก็บเกี่ยวอาจมีความสำคัญต่อการกำจัดไนโตรเจน

8) การดูดซับแอมโมเนีย (*Ammonium adsorption*) กระบวนการนี้ถูกกำจัดให้ใช้ได้เฉพาะในระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำได้เร็วเนื่องจากการสัมผัสของน้ำเสียและตัวกลางมาก อย่างไรก็ตามในบึงประดิษฐ์มักไม่ใช้ดินเหนียวซึ่งดูดซับแอมโมเนียได้ดี

9) การทับถมของสารอินทรีย์ในโตรเจน (*Organic nitrogen burial*) เป็นกลไกการกำจัดที่พบเฉพาะในบึงประดิษฐ์ที่มีพืชแบบไหล่น้ำและเป็นแบบการไหลของน้ำเหนือผิวดิน ซึ่ง Peat หรือชั้นของเศษพืชจะเป็นแหล่งสำคัญของการกำจัดสารอาหาร

2.3.4 การกำจัดฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดโดยกระบวนการดูดซับของพืช การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนและการตกตะกอน ส่วนใหญ่การกำจัดเกิดในชั้นดินในส่วนก้นบึง หากดินมีส่วนผสมของเหล็กอลูมิเนียมและแคลเซียมก็จะส่งเสริมให้การกำจัดดีขึ้น ส่วนพืชจะดูดซับฟอสฟอรัสผ่านรากและส่งผ่านไปยังเนื้อเยื่อนำไปใช้สร้างเซลล์ เมื่อพืชตายและถูกย่อยสลายจะคายฟอสฟอรัสออกมาบางส่วนและส่วนที่เหลือจะจมอยู่กับซากพืช

กระบวนการทางกายภาพที่สำคัญ 2 กระบวนการในการกำจัดฟอสฟอรัสในบึงประดิษฐ์ คือ กระบวนการตกตะกอนของอนุภาคของฟอสฟอรัสและดูดติด (*Sorption*) ฟอสเฟตที่ละลาย

อนุภาคที่เข้าสู่ระบบอาจมีทั้งฟอสฟอรัสที่ใช้ได้และใช้ไม่ได้โดยพืช ถ้าอนุภาคนี้เป็นพวกแพลงค์ตอนสุดท้ายจะถูกย่อยสลาย และปล่อยฟอสฟอรัสในรูปสารละลายออกมา ฟอสฟอรัสอาจสามารถดูดติดอนุภาคได้อย่างอ่อนๆ ซึ่งสุดท้ายจะเกิดการหลุดออกมา แต่ถ้าอนุภาคมี

ฟอสฟอรัสในรูปแร่ธาตุที่ไม่ละลาย หรือสารประกอบ Organophosphorus ก็อาจถูกกำจัดได้อย่างถาวรโดยการตกตะกอนได้

วงจรของฟอสฟอรัสในบึงประดิษฐ์ค่อนข้างซับซ้อนและมีฟอสฟอรัสหลายรูป การดูดซึมโดยพืชไม่ควรนำมาใช้วัดอัตราการกำจัดฟอสฟอรัสในระบบเพราะว่าฟอสฟอรัสที่สะสมในพืชจะถูกปล่อยลงสู่บึง ในกระบวนการย่อยสลาย การสะสมของฟอสฟอรัสระยะยาวเป็นผลมาจากการทับถมของซากรวมทั้งการทับถมของฟอสฟอรัสที่อยู่ในสารประกอบที่ย่อยสลายยาก

2.3.5 การกำจัดเชื้อโรค กลไกหลักในการกำจัดเชื้อโรค มีทั้งการตกตะกอนและการกรอง การใช้รังสีอัลตราไวโอเลตการตายตามธรรมชาติ (Natural die-off) และการถูกกิน (Predation) เชื้อโรคและไข่พยาธิจะตกตะกอนและถูกกำจัด นอกจากนี้อาจจะถูกดูดซับด้วยอนุภาคในน้ำ และบางส่วนอาจถูกดูดซึม (Adsorb) บนผิวของพืชน้ำที่ปลูกในบึงนั้น ประสิทธิภาพการกำจัดขึ้นอยู่กับชนิดเชื้อโรค เวลาการเก็บกัก และอุณหภูมิ

2.3.6 การกำจัดโลหะหนัก โลหะถูกกำจัดโดยการดูดซึมของพืช (Plant uptake) และการตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) และการดูดซับกับดินและสารประกอบอินทรีย์ที่ตกตะกอน บางแห่งใช้บึงประดิษฐ์บำบัดน้ำเสียจากเหมืองที่มีสารละลายกรดและโลหะ ส่วนใหญ่จะเป็นบึงประดิษฐ์แบบไหลบนพื้นผิว เนื่องจากการซึมผ่านชั้นตัวกลางอาจเกิดการอุดตันง่าย

2.3.7 การกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยยาก สารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยยากหรือสารประกอบอินทรีย์ที่คงตัว ซึ่งประกอบด้วย สารลดแรงตึงผิว ฟีนอล เบนซิน และสารกำจัดวัชพืช ซึ่งล้วนเป็นพิษและสลายตัวทางชีวภาพได้ช้า กลไกที่สำคัญในการกำจัดสารประเภทนี้ในบึงประดิษฐ์ คือ การระเหย การดูดซับ และการย่อยสลายทางชีวภาพ การระเหยเกิดขึ้นที่ผิวน้ำของระบบ การดูดซับเกิดขึ้นบนสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ สารอินทรีย์เหล่านี้สะสมอยู่ในตะกอนแล้วถูกย่อยสลายโดย จุลินทรีย์อัตราการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนจุลชีพ พีเอช อุณหภูมิ น้ำ ชื้นดิน และเวลาเก็บกักน้ำ

3. ผักบุ้งและผักกระเฉด

3.1 ผักบุ้ง เป็นพืชในวงศ์ Convolvulaceae เรียกว่า Water spinach มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Impomea aquatica* Forsk. เป็นพืชลอยน้ำมีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และปลูกทั่วไปในเขตร้อน ผักบุ้งมีชื่อพื้นเมือง เรียกว่า ผักทอดยอด ผักบุ้งไทย ผักบุ้งแดง ผักบุ้งนา และกัจจร ผักบุ้งเป็น ไม้ล้มลุก ลำต้นเลื้อยทอดไปตามน้ำหรือในที่ลุ่มที่มีความชื้นหรือ

ดิน ลำต้นกลมวงสีเขียวมีข้อปล้องและมีรากออกตามข้อได้เป็นใบเดี่ยวออกแบบสลับเช่น รูปไข่ แถบขอบขนานรูปหอก รูปหัวใจรูปสามเหลี่ยม ขอบใบเรียบหรือมีคลื่นเล็กน้อย ปลายใบแหลมหรือมนฐานใบเว้า เป็นรูปหัวใจใบยาว 3-15 ซม. กว้าง 1-9 ซม. ดอกเป็นรูปประฆังออกที่ขอบใบแต่ละช่อมีดอกย่อย 1-5 ดอก กลีบเรียงสีเขียวกลีบดอกมีทั้งสีขาว สีม่วงแดง สีชมพูม่วงกลีบดอกจะติดกันเป็นรูปกรวยมีสีขาวอยู่ด้านบนและมีสีม่วงหรือสีชมพูอยู่ที่ฐานเกสรตัวผู้มี 5 อันยาวไม่เท่ากันผลเป็นแบบแคปซูลรูปไข่หรือกลมสีน้ำตาลมีเมล็ดกลมสีดำ ผักนึ่งมีรากเป็นระบบรากแก้ว (Tap root system) และมีรากแขนงแตกออกทางด้านข้างของรากแก้วในระยะแรกของการเจริญเติบโตจะมีลำต้นตั้งตรง ระยะต่อไปจะเลื้อยทอดยอดไปตามพื้นดินหรือน้ำ พร้อมทั้งมีรากแขนงแตกออกตามข้อ ผักนึ่งขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ด และการปักชำเถา ปลูกได้ตลอดปี เหมาะกับสภาพดินที่เป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง ผักนึ่งชอบดินที่มีความชื้นสูง ดินร่วนซุย หลังเตรียมดินใส่ปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยเคมีแล้วจึงหว่านเมล็ด กลบดินหนา 1 เซนติเมตร การหว่านอาจจะหว่านเป็นแถว แต่ละแถวห่างกัน 10-15 เซนติเมตร คลุมด้วยเศษหญ้าหรือเศษฟาง รดน้ำเช้า-เย็น ต้นกล้าจะงอกใน 2-3 วัน ให้ถอนต้นที่เบียดกันทิ้ง หลังจากต้นกล้างอก 7 วัน ให้ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียซัลเฟต อายุเก็บเกี่ยว 20-30 วัน โรคที่สำคัญของผักนึ่งที่พบมีโรคราสนิทขาว (White Rust) พบระบาดในฤดูฝน โรคนี้แพร่กระจายได้รวดเร็ว การป้องกันกำจัดเมื่อพบว่าผักนึ่งเป็นโรคราสนิทขาวให้ถอนทำลายและหยุดการปลูกผักนึ่งบริเวณที่มีโรคระบาด 1-2 เดือน สำหรับแมลงศัตรูผักนึ่งไม่พบว่ามีการระบาดที่รุนแรง (วนิดา ชนประโยชน์ศักดิ์ 2531: 10)

3.2 ผักกระเฉด เป็นพืชวงศ์ถั่ว เรียกว่า *Water mimosa* ชื่อทางพฤกษศาสตร์คือ

Neptunia prostrata (Lam) Baili. หรือ *Neptunia oleracea* Lour. ทางภาคเหนือเรียกผักกระเฉดว่า ผักหนอง ผักกระเฉดเป็นพืชล้มลุกอายุหลายฤดู ต้นลอยน้ำหรือเลื้อยแผ่ใกล้ชายฝั่ง ลำต้นเป็นปล้อง ต้นแก่จะมีมวนหนาสีขาวที่เรียกว่ามมุ่มเป็นปล้องเป็นช่วงๆ เว้นส่วนที่เป็นข้อ ช่วยพยุงตัวให้ลอยน้ำได้ดี รากเป็นรากแขนงแตกออกจากข้อ ใบเป็นใบประกอบแบบขนนก ใบย่อยมีขนาดเล็กไวต่อสิ่งเร้าเมื่อถูกสัมผัสใบจะหุบ ดอกมีสีเหลืองเป็นช่อรวมเป็นรูปกระจุกกลมตามซอกใบ ช่อละ 30-50 ดอก มีก้านช่อดอกยาว ผลเป็นฝักแบนมีเมล็ด ขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ด และการปักชำเถา การปลูกโดยไถดิน คราดดิน ให้ละเอียดใส่น้ำเข้าแปลงทำเทือกให้ดี นำยอดผักกระเฉดมาทำเป็นจับๆ ละ 4-5 ยอด แล้วนำไปปักชำในแปลงสลับฟันปลา ลึกลงในดิน 6-7 ซม. โดยใช้ระยะปลูกระหว่างต้น 2 เมตร หรือปลูกเป็นแถวเป็นแนวระยะ 1 X 1.5 เมตร แล้วกดดินให้ส่วนโคนติดแน่นพอสมควร ส่วนปลายยอดจะลอยให้ระบายน้ำเข้าและออกสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ควบคุมระดับน้ำให้ลึก ประมาณ 30-33 ซม. เชี่ยยอดของผักกระเฉดสัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง เพื่อไม่ให้ยอดเกยกัน โรคที่สำคัญ คือโรคราน้ำค้าง ลักษณะอาการจะเกิดเป็นจุดสีเหลือง หรือเหลืองทั้งใบ ใบย่อยร่วง ยอดกุดและหักง่าย โป่งหรือนมดิบสีน้ำตาล แมลงที่สำคัญ คือ เพลี้ย เพลี้ยอ่อน เพลี้ยจักจั่น และเพลี้ยไฟ โดยในระยะแตกยอดอ่อน

จะมีแมลงปากดูดเหล่านี้ มาคูดน้ำเลี้ยงตามใต้ใบ และยอด ทำให้ยอดคูดไม่เดิน หนอนกระทุ้งและหนอนใยฝัก หนอนชนิดนี้จะเจาะโป่งหรือนมของฝักกระเจด ทำให้ฝักกระเจดหลุดขาดและเน่า และด้วงหมัดฝัก ตัวอ่อนที่เป็นตัวหนอนชอบกัดกินราก ส่วนตัวแก่จะกัดกินใบจนพรุน ทำให้เกิดความเสียหายในช่วงกำลังเจริญเติบโต (วนิดา ชนประโชชน์ศักดิ์ 2531: 10)

3.3 ข้อกำหนดในการใช้ฝักบุงและฝักกระเจด เนื่องจากฝักบุงและฝักกระเจด เป็นพืชที่สามารถนำไปบริโภคได้ ประกอบกับ โรงงานผลิต รองเท้ามีการใช้สารอินทรีย์ระเหย (Solvent based) ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมของสารพิษในร่างกายมนุษย์อันเนื่องมาจากการนำฝักบุง หรือฝักกระเจดที่ใช้ในการบำบัดน้ำไปบริโภคจึงมีข้อกำหนดดังนี้

3.3.1 คุณลักษณะของน้ำทิ้ง ต้องมีค่าสาร โลหะหนัก สารกลุ่มออร์แกโนคลอรีน และสารพิษอื่นๆ ไม่เกินค่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนด

3.3.2 มีระบบการจัดการของเสีย ที่เกิดจากกระบวนการผลิตของ โรงงานอย่างเหมาะสม โดยมีการแยกกากของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ระเหยเพื่อนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี

3.3.3 ออกกฎระเบียบ ในการห้ามนำฝักบุง หรือฝักกระเจดที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานไปบริโภค

3.3.4 ทำตรวจวิเคราะห์หาสารโลหะหนัก ในเนื้อเยื่อของฝักบุงและฝักกระเจด เพื่อยืนยันการสะสมของสารโลหะหนักในเนื้อเยื่อพืช

3.3.5 ต้องทำการเฝ้าระวังการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต เพื่อดำเนินการป้องกันการปนเปื้อนของสารเคมีที่เป็นสารพิษ หรือ สารโลหะหนัก ลงสู่น้ำทิ้งของโรงงาน

3.4 การปฏิบัติตามข้อกำหนดในการใช้ฝักบุงและฝักกระเจดของโรงงาน

3.4.1 ลักษณะน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงาน จากตารางที่ 2.2 แสดงได้ว่าคุณลักษณะของน้ำทิ้งของโรงงานมีคุณลักษณะเป็นไปตามมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด โดยมีค่าสาร โลหะหนัก สารกลุ่มออร์แกโนคลอรีน และสารพิษ ไม่เกินค่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนด

3.4.2 การจัดการของเสียจากกระบวนการผลิต ประเภทของของเสียของ โรงงาน แบ่งเป็น

- 1) ของเสียอันตราย เช่น กาวหมดอายุ วัสดุปนเปื้อนสารเคมี สารอินทรีย์ระเหยหมดอายุ น้ำมันใช้แล้ว เป็นต้น
- 2) ของเสียไม่อันตราย เช่น เศษผ้า เศษยาง เป็นต้น
- 3) ของเสียทั่วไป เช่น เศษอาหาร เป็นต้น

การกำจัดของเสียทุกประเภทของโรงงานจะดำเนินการส่งไปกำจัดยังผู้ที่ได้รับอนุญาตในการกำจัดของเสียในแต่ละประเภทตามกฎหมาย

3.4.3 การออกกฎระเบียบ ในการห้ามนำผักบุง หรือผักกระเฉดไปบริโภค จะดำเนินการติดป้ายห้ามนำผักบุงและผักกระเฉดไปบริโภค และทำการประชาสัมพันธ์ให้พนักงานรับทราบ และมีการเฝ้าระวังการเก็บเกี่ยวผักบุง หรือผักกระเฉดรวมทั้งปลาในบ่อรับน้ำทิ้งไปบริโภค โดยเจ้าหน้าที่สิ่งแวดล้อมและเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัยของโรงงาน

3.4.4 การวิเคราะห์หาสารโลหะหนักในเนื้อเยื่อผักบุงและผักกระเฉด จะทำการตรวจวิเคราะห์เป็นประจำทุกเดือน เพื่อเป็นการเฝ้าระวังการสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อพืช

3.4.5 การเฝ้าระวังการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต เนื่องจากโรงงานมีระบบการจัดการสารเคมีโดยจะมีระบบการแจ้งการใช้สารเคมีประจำวันให้กับเจ้าหน้าที่สิ่งแวดล้อมรับทราบ ทำให้สามารถจัดการเกี่ยวกับการจัดเก็บ การใช้ การถ่ายเท และการกำจัดกากสารเคมีได้อย่างเหมาะสม เพื่อป้องกันการปนเปื้อนสู่ น้ำทิ้งของโรงงาน

3.5 การใช้ประโยชน์พืชน้ำหลังการบำบัด ในกรณีที่ตรวจวิเคราะห์เนื้อเยื่อพืช แล้วไม่พบสารโลหะหนัก หรือสารพิษอื่นๆ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมักได้ แต่ในกรณีที่ตรวจพบสาร โลหะหนักที่มีค่าเกินมาตรฐานที่กฎหมายกำหนดจะต้องดำเนินการส่งกำจัดเป็นของเสียอันตรายห้ามนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กลอยกาญจน์ เก้านตรสุวรรณ (2544: ง) ได้ทำการทดลองโดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดิน ในการบำบัดซีโอดี ในโตรเจนและฟอสฟอรัส จากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ตัวกลาง 2 ชนิด คือ ดินปนทราย และทรายปนหินชนวน และพืช คือ ต้นธูปฤๅษี พบว่าสามารถกำจัดซีโอดี และไนโตรเจน มีค่าสูงสุดในบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางปนทราย ร้อยละ 94.23 และ 94.59 และประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสมีค่าสูงสุดในบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน ร้อยละ 74.67

จิตติมา เชื้อกุล (2545: ง) ได้ทดลองศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ต้นพุทธรักษาในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ใช้น้ำเสียจากบ่อเดิมอากาศที่ 1 ของโรงบำบัดน้ำเสียบึงพระราม 9 โดยศึกษาผลของระยะเวลาที่พักชลศาสตร์ของน้ำเสีย ชนิดพันธุ์ และความหนาแน่นของต้นพุทธรักษาพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีสูงสุด เมื่อระยะเวลาที่พักชลศาสตร์ 7 วัน พุทธรักษาออกสีเหลือง ความหนาแน่น 25 ต้น/ตารางเมตร มีค่า 46.19% ประสิทธิภาพการบำบัดเอส

เอส ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัส สูงสุดเมื่อระยะเวลาพักกักขัง 7 วัน พุทธรักษาดอกสีแดง ความหนาแน่น 25 ต้น/ตารางเมตร มีค่า 74.19%, 82.06% และ 75.53% ตามลำดับ

จิตติมา วสุสิน (2539 : ก) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของพีชน้ำ 3 ชนิด คือ ผักกระเฉด จอก และผักตบชวา ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและที่พักอาศัย โดยน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียซึ่งยังไม่ผ่านการบำบัดใดๆ เลย จากศูนย์ศาลา ในการศึกษาใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 15 วัน ทำการปลูกพืชเต็มพื้นที่ผิวน้ำทั้ง 3 ชนิด ผลการศึกษาพบว่าน้ำเสียที่ออกจากสภาพธรรมชาติ ผักกระเฉด จอก และผักตบชวา สามารถลดค่าบีโอดี เท่ากับ 35.70 เปอร์เซ็นต์, 40.70 เปอร์เซ็นต์, 56.17 เปอร์เซ็นต์ และ 76.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลดซีโอดี เท่ากับ 26.36 เปอร์เซ็นต์, 83.47 เปอร์เซ็นต์, 56.17 เปอร์เซ็นต์ และ 62.56 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 15.68 เปอร์เซ็นต์, 61.78 เปอร์เซ็นต์, 56.41 เปอร์เซ็นต์ และ 44.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ปริดา เข้มเจริญวงศ์ (2533: 222-231) ได้ทดลองใช้ผักตบชวา ใส่ลงในสระบำบัดน้ำเสียของเทศบาลเมืองขอนแก่น โดยครอบคลุมพื้นที่บ่อ 3.8 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่สระเป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าสามารถลดค่าบีโอดีและของแข็งแขวนลอยได้ 50.14 เปอร์เซ็นต์ และ 30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่ถ้าไม่ใส่ผักตบชวา ค่าบีโอดีลดลงได้เพียง 31.54 เปอร์เซ็นต์ และของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น 0.28 เปอร์เซ็นต์

ไพบุลย์ ประพฤติธรรม และคณะ (2543 : 32-6) ศึกษาส่วนผสมดินและการให้น้ำในระบบห้วยกรอง โดยพบว่าระยะเวลาการขังน้ำมีอิทธิพลต่อการบำบัดบีโอดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยระยะเวลาการขังน้ำ 5 และ 7 วัน สลับแห้ง 3 วัน บำบัดได้ดีกว่า ระยะเวลาการขัง 3 วัน สลับแห้ง 3 วัน และพบว่า ระยะเวลาการขังน้ำ 5 และ 7 วัน สลับแห้ง 3 วัน บำบัดบีโอดีได้ไม่แตกต่างกัน ในทางสถิติแต่ระยะเวลาการกักขังน้ำ 7 วัน มีแนวโน้มในการบำบัดบีโอดีได้ดีกว่าและประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีที่ระยะเวลาการขังน้ำ 3/3, 5/3, และ 7/3 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 90.1, 93.4 และ 94.9 ตามลำดับ

ศุวสา กานตวนิชกุล (2544: ง) ได้ทดลองใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบผสมผสาน ที่ประกอบด้วยแบบที่มีการไหลของน้ำได้ผิวดินในแนวตั้งรวมกับแบบที่มีการไหลของน้ำได้ผิวดินในแนวราบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการกำจัดไนโตรเจน โดยเปรียบเทียบพืชที่ใช้ 2 ชนิด คือ ธูปฤาษี และกกสามเหลี่ยม ผลการทดลองพบว่าทั้งสองระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนได้ใกล้เคียงกัน โดยประสิทธิภาพสูงสุดเฉลี่ยจะเกิดที่การะบวรทุกทางชลศาสตร์ที่ต่ำสุด คือ 3 ชม./วัน (76-82%) และกำจัดทีเคเอ็น ได้ 85-98% สำหรับค่า COD, BOD, SS, FC และ TP สามารถกำจัดได้ 93-99%

สรรรเพชญ อังกิตระกูล (2541: ง) ได้ทดลองใช้ผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยใช้ผักตบชวาที่ความหนาแน่น 4 กิโลกรัมเปียก/ตารางเมตร พบว่าผลการทดลองในสัปดาห์

ที่ 1 ผักตบชวาสามารถลดค่า บีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสเฟต ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอย โดยเฉลี่ย 29.50, 25.83, 24.143, 18.90, 27.32 และ 24.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดลองใน สัปดาห์ที่ 2 ผักตบชวาสามารถลดค่าบีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสเฟต ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอยโดยเฉลี่ย 37.28, 37.43, 41.77, 23.55, 34.64 และ 39.09 เปอร์เซ็นต์

สร้อยดาว ขวดยง (2534: 3) ได้อ้างถึงผลการศึกษาของ Furman และ Gilcreas ได้ศึกษาถึงความสามารถในการดูดสารอาหาร (Nutrient) ของผักตบชวา ในบ่อผึ่ง (Oxidation Pond) ที่ปลูกผักตบชวาเต็มพื้นที่บ่อ จนทำให้บ่อบำบัดมีสถานะไร้ออกซิเจน และมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 5 วัน พบว่าในบ่อบำบัดดังกล่าว มีการลดลงของไนเตรตได้ เนื่องจากไนเตรตมีการเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจนและอินทรีย์ไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจนจะลดลงได้ 75 เปอร์เซ็นต์ ในเดือนที่มีอากาศร้อน และได้ 35 เปอร์เซ็นต์ ในเดือนที่มีอากาศหนาว

สุชาดา ศรีเพ็ญ และคณะ (2543: 39-7) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีในระบบหญ้ากรองน้ำเสียโดยใช้หญ้าแฝกอิน โคนิเซีย หญ้าแฝกศรีลังกา กกกลม และรูปฤาษี พบว่ารูปฤาษีสามารถดูดซับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้มากกว่าหญ้าแฝกอิน โคนิเซีย หญ้าแฝกศรีลังกา และกกกลม

Cornwell (1997) ได้ทำการทดลองใช้ผักตบชวาดูดสารอาหารจาก secondary effluents ในรัฐแคลิฟอร์เนีย พบว่า ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเหมือนอยู่ในสภาพธรรมชาติ ในบ่อทดลองขนาดความลึก 0.34 เมตร ผักตบชวาสามารถดูดซึมไนโตรเจนได้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง สำหรับบ่อทดลองที่มีความลึกมากกว่าและใช้เวลาน้อยกว่าได้ผลไม่เป็นที่พอใจ ทั้งนี้พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดสารหรือเคลื่อนย้ายไนโตรเจนนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิว

จากการศึกษาที่ผ่านๆ มาพบว่าพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่ที่นิยมใช้ คือ ผักตบชวา และรูปฤาษี ในบำบัดบีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโลหะหนัก แต่สำหรับพืชลอยน้ำผักบึงและผักกระเฉดยังมีผู้ศึกษาน้อยซึ่งอาจเป็นผลมาจากข้อจำกัดในการใช้พืชน้ำที่สามารถนำมาบริโภคได้มาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบกึ่งทดลอง (Quasi- Experimental Research) ภายใต้สภาวะการณ์ธรรมชาติ ทำการศึกษาการใช้ผักบุงและผักกระเฉดในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส โดยมีวิธีดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 น้ำทิ้ง ที่ใช้ในการทดลอง

ประชากร คือ น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส ของโรงงานผลิตรองเท้าทั่วไป

กลุ่มตัวอย่าง คือ น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส ของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา

1.2 พืช ที่ใช้ในการทดลอง

ประชากร คือ ผักบุงและผักกระเฉดทั่วไป

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผักบุงและผักกระเฉดในแหล่งน้ำแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี

1.3 ตัวแปรของการวิจัย

1.3.1 ตัวแปรต้น

1) *ระยะเวลาการพักชลศาสตร์ (HRT)* การศึกษาครั้งนี้กำหนดระยะเวลาการพักชลศาสตร์เป็น 3 ค่า คือ 10, 15 และ 20 วัน เนื่องจากพืชประเภทลอยน้ำจากค่าการออกแบบระบบจะต้องใช้ระยะเวลาการพักชลศาสตร์ 4-15 วัน

2) *ชนิดพืช* การศึกษาครั้งนี้เลือกผักบุงและผักกระเฉด ซึ่งจัดอยู่ในประเภทพืชลอยน้ำทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเป็นพืชที่หาได้ง่ายและสามารถเจริญเติบโตได้ดีในบ่อรับน้ำทิ้งของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษามากที่สุด

3) *ช่วงอายุการเจริญเติบโต* การศึกษาครั้งนี้ทดลองที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืชหลังจากเริ่มต้นปลูกที่ 20, 40 และ 60 วัน โดยใช้ต้นอ่อนผักบุงและยอดอ่อนผักกระเฉดที่ความยาวเริ่มต้น 40-60 เซนติเมตร เนื่องจากระดับน้ำมีความลึก 20 เซนติเมตรจึงเป็นตัวกำหนดความยาวเริ่มต้นของพืช เพราะถ้ายอดพืชจมอยู่ใต้น้ำจะทำให้พืชเน่าและตายได้

1.3.2 ตัวแปรตาม

- 1) *ประสิทธิภาพการลดทีเคเอ็น* เนื่องจากเป็นสารอาหารที่สามารถทำให้เกิดภาวะสาหร่ายสะพรั่งได้ ทำให้น้ำมีสีเขียวของสาหร่าย ทำให้เกิดการใช้ออกซิเจนในน้ำปริมาณมาก ส่งผลทำให้สัตว์น้ำตายในเวลากลางคืนได้
- 2) *ประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัส* เนื่องจากเป็นสารอาหารที่สามารถทำให้เกิดภาวะสาหร่ายสะพรั่ง และเป็นธาตุอาหารพืช
- 3) *ประสิทธิภาพการลดซีโอดี* เนื่องจากโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษามีน้ำเสียบางส่วนเป็นน้ำเสียเคมีจากกระบวนการผลิตประเภทสารอินทรีย์ระเหยง่าย และสารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

1.3.3 ตัวแปรควบคุม

- 1) *ระดับความลึกของน้ำ* ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดค่าความลึกของระดับน้ำในการทดลอง คือ 20 เซนติเมตร เนื่องจากผักบุงและผักกระเฉดสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับความลึก 20-30 เซนติเมตร
- 2) *คุณภาพน้ำเข้าระบบ* ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดค่า ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และซีโอดี เป็นค่าตามจริงในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษาในช่วงทำการทดลองในเดือนกุมภาพันธ์- เมษายน 2547
- 3) *ความหนาแน่นของพืช* กำหนดค่าความหนาแน่นของผักบุงและผักกระเฉดที่ 1.98 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร

1.3.4 ปัจจัยสภาพแวดล้อมทั่วไป

- 1) *สภาพอากาศ* เป็นสภาพอากาศในช่วงทำการทดลองในเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน 2547

1.3.5 ค่าออกแบบการทดลองในด้านอื่นๆ

- 1) *ชั้นดิน* ในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้ชั้นดินร่วนปนทรายหนา 10 เซนติเมตร สำหรับปลูกผักบุงและผักกระเฉด
- 2) *อัตราส่วนขนาดของระบบ* ในการศึกษาครั้งนี้ใช้อัตราส่วนความยาว: ความกว้าง โกลี่เคียง 2:1
- 3) *การไหลของน้ำในบ่อบึงประดิษฐ์* ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดลักษณะการไหลเป็นแบบการไหลแบบพื้นผิว (FWS) น้ำเสียจะไหลผ่านต้นพืช และไหลออกจากบ่อในระดับเหนือพื้นดิน

2. อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย

2.1 พื้นที่สำหรับก่อสร้าง ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ขนาด 2x8 เมตร

2.2 ถังพักน้ำเข้า และบ่อดูดอง

2.2.1 ถังพลาสติก ขนาด 200 ลิตร 1 ใบ

2.2.2 ท่อพีอี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 16 เมตร

2.2.3 ท่อน้ำเข้า ควบคุมอัตราการไหล ใช้สายยางขนาด 0.30 เซนติเมตรแบบรีดสาย

จำนวน 27 ชุด

2.2.4 บ่อดูดอง ถังพลาสติกขนาด 0.42x0.60x0.36 เมตรจำนวน 27 บ่อ ใส่ดินร่วน

ปนทรายหนา 10 เซนติเมตร

2.2.5 ท่อน้ำออก

1) ท่อพีอี ขนาด 0.50 นิ้ว ยาว 15 เซนติเมตร/1 บ่อ

2) ข้อต่อแบบข้องอและเกลียวใน 27 ชุด

2.3 พืชที่ใช้ในการทดลอง

2.3.1 ต้นอ่อนผักบุ้ง ความยาวเริ่มต้น 40-60 เซนติเมตร

2.3.2 ยอดผักกระเฉด ความยาวเริ่มต้น 40-60 เซนติเมตร

2.4 กระบอกตวง ขนาด 10 มิลลิลิตร

2.5 นาฬิกาจับเวลา สำหรับวัดอัตราการไหล

2.6 ไม้บรรทัด

2.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก

2.8 พีเอชมิเตอร์ และกระดาษลิตมัส

2.9 ดีไอมิเตอร์

2.10 เทอร์โมมิเตอร์

2.11 ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

2.12 ผ้าใบพลาสติกสำหรับกันฝน

3. การทดลอง

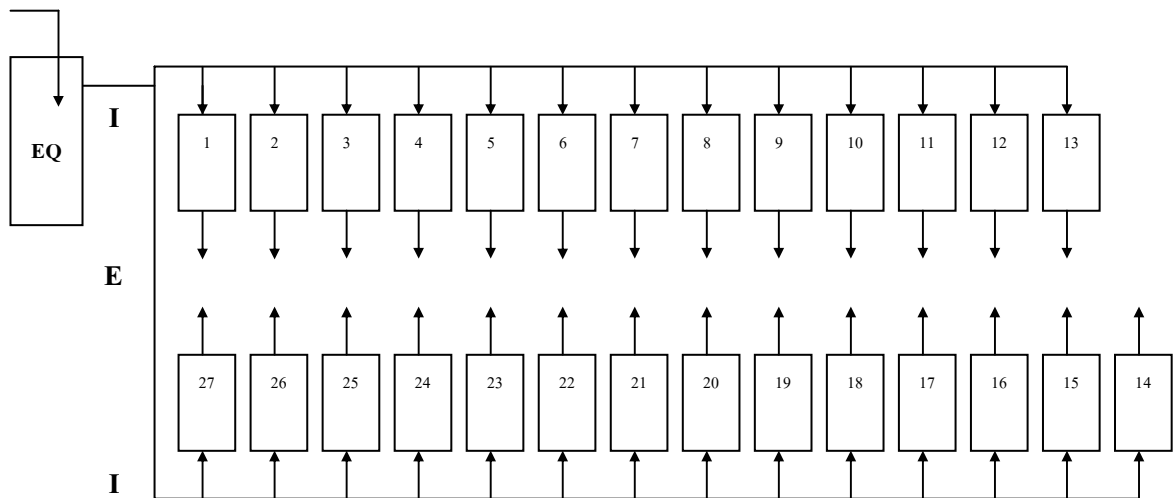
3.1 การเตรียมการทดลอง

3.1.1 การเตรียมสถานที่ทดลอง

1) บ่อทดลองเป็นบ่อดันแบบขนาดเล็ก (pilot scale) จำนวน 27 บ่อ เป็นถังพลาสติก กว้าง 0.42 เมตร ยาว 0.60 เมตร ลึก 0.36 เมตร ต่อท่อสำหรับให้น้ำเสียไหลเข้าบ่อโดยใช้สายยางแบบรีดสายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เซนติเมตร ในบริเวณกึ่งกลางของปากบ่อ และต่อสายสำหรับให้น้ำเสียไหลออกจากบ่อโดยใช้ท่อพีวี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 นิ้ว ในบริเวณกึ่งกลางสูงจากก้นบ่อ 0.30 เมตร ทั้งนี้เพื่อควบคุมระดับน้ำในบ่อให้ได้ประมาณ 0.20 เมตร จากพื้นผิวดินชั้นบนดังแสดงในภาพที่ 3.1 เตรียมบ่อทดลองรวมจำนวน 27 บ่อ

2) ใส่ดินร่วนปนทราย สำหรับการยึดเกาะของพืชลงในบ่อ กลี่ยให้สม่ำเสมอทั่วทั้งบ่อให้หนา 10 เซนติเมตร

3) เตรียมบ่อทดลอง ให้มีลักษณะเหมือนกันทั้ง 27 บ่อ



ภาพที่ 3.1 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียในการทดลอง

เมื่อ EQ คือ ถังพักน้ำก่อนเข้าบ่อทดลอง

I คือ น้ำเข้า (Influent)

E คือ น้ำออก (Effluent)

3.1.2 การเตรียมพืช

1) การเตรียมผักบุ้ง นำผักบุ้งไทยจากแหล่งน้ำซึ่งเป็นแหล่งเดียวกันนำมาเพาะเลี้ยงในบ่อเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา เป็นเวลา 2-3 สัปดาห์ ก่อนนำมาทดลอง เพื่อให้ผักบุ้งสามารถเจริญเติบโตในน้ำทิ้งในบ่อทดลองได้ดังภาพที่ 3.2 และภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.2 แหล่งของผักบุ้งที่นำมาใช้ในการทดลองบำบัดน้ำเสีย



ภาพที่ 3.3 การเพาะเลี้ยงผักบุ้งก่อนการทดลองในบ่อเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของ โรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา

2) การเตรียมผักกระเฉด นำผักกระเฉดจากแหล่งเดียวกันมาเพาะเลี้ยงในบ่อเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษาเป็นเวลา 2-3 สัปดาห์ ก่อนนำมาทดลอง เพื่อให้ผักกระเฉดสามารถเจริญเติบโตในน้ำทิ้งในบ่อทดลองได้ ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 การเพาะเลี้ยงผักกระเฉดก่อนการทดลองในบ่อเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา

3.1.3 การปลูกพืช

1) การปลูกผักบุ้ง นำต้นอ่อนผักบุ้งที่ผ่านขั้นตอนเตรียมพืชในข้อ 4.1.2 ความยาว 40-60 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักให้ได้ 0.5 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อ 1 บ่อทดลอง นำไปปลูกในบ่อทดลองที่ 1, 2, 3, 10, 11, 12, 19, 20 และ 21 โดยใช้ระยะปลูกระหว่างต้น 10-15 เซนติเมตร แล้วกดดินให้ส่วนโคนติดแน่นพอสมควร ใส่ น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส โดยควบคุมระดับน้ำให้ลึก 20 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 บ่อทดลองปลูกผักบั้งควบคุมระดับน้ำให้ลึก 20 เซนติเมตร

2) การปลูกผักกระเฉด ใส่น้ำเข้าบ่อทดลองให้ระดับน้ำลึก 20 เซนติเมตร นำยอดผักกระเฉดความยาว 40-60 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักให้ได้ 0.5 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อ 1 บ่อทดลอง ปลูกในบ่อทดลองที่ 4, 5, 6, 13, 14, 15, 22, 23 และ 24 ลึกลงในดิน 6-7 เซนติเมตร โดยใช้ระยะปลูกระหว่างต้น 10-15 เซนติเมตร แล้วกดดินให้ส่วนโคนติดแน่นพอสมควร ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 บ่อทดลองปลูกผักกระเฉดควบคุมระดับน้ำให้ลึก 20 เซนติเมตร

3) สำหรับบ่อทดลองที่ 7, 8, 9, 16, 17, 18, 25, 26, 27 เป็นบ่อควบคุมที่ไม่ปลูกพืช ควบคุมน้ำให้ระดับน้ำลึก 20 เซนติเมตรเหมือนกับบ่อทดลองที่ปลูกผักบั้งและบ่อทดลองที่ปลูกผักกระเฉด ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 บ่อควบคุม ควบคุมระดับน้ำให้ลึก 20 เซนติเมตร

3.1.4 การเตรียมน้ำทิ้ง น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลอง คือ น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส ซึ่งจะถูกลูบหน้าโดยเครื่องสูบน้ำมาตามท่อส่งน้ำทิ้ง มายังถังพักน้ำก่อนปล่อยลงสู่ชุดบ่อทดลองต่อไป

3.1.5 การคำนวณอัตราการไหล

จากสูตร $Q = LWdn / t$

ความยาวของบ่อ (L) = 0.60 เมตร

ความกว้างของบ่อ (W) = 0.42 เมตร

ความลึกของน้ำ (d) = 0.20 เมตร

ค่าคงที่แสดงช่องว่างภายในบ่อ (n) = 0.75 (สำหรับระบบน้ำไหลพื้นผิว)

ระยะเวลาที่กักพักชลศาสตร์ (t) = 10, 15 และ 20 วัน

ดังนั้น อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำที่ระยะเวลาที่กักพักชลศาสตร์ 10 วัน เท่ากับ 3.78 ลิตรต่อวัน อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำที่ระยะเวลาที่กักพักชลศาสตร์ 15 วัน เท่ากับ 2.52 ลิตรต่อวัน และอัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำที่ระยะเวลาที่กักพักชลศาสตร์ 20 วัน เท่ากับ 1.89 ลิตรต่อวัน

3.2 การดำเนินการทดลอง ใช้ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือผิวดิน และ ผักบึงกับผักกระเฉดในการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี ในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา โดยจัดรูปแบบบ่อทดลองดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รูปแบบการทดลองในแต่ละบ่อการทดลองทั้ง 27 บ่อ

บ่อทดลอง	ชนิดพันธุ์พืช	ช่วงอายุการเจริญเติบโต	ความหนาแน่นของพืช (กก.น้ำหนักเปียก/ตร.ม.)	ระยะเวลาปักหลักศาสตร์
บ่อที่ 1,2,3	ผักบุ้ง	20, 40 และ 60 วัน	1.98	10 วัน
บ่อที่ 4,5,6	ผักกระเฉด	20, 40 และ 60 วัน	1.98	10 วัน
บ่อที่ 7,8,9	บ่อควบคุม	-	-	10 วัน
บ่อที่ 10,11,12	ผักบุ้ง	20, 40 และ 60 วัน	1.98	15 วัน
บ่อที่ 13,14,15	ผักกระเฉด	20, 40 และ 60 วัน	1.98	15 วัน
บ่อที่ 16,17,18	บ่อควบคุม	-	-	15 วัน
บ่อที่ 19,20,21	ผักบุ้ง	20, 40 และ 60 วัน	1.98	20 วัน
บ่อที่ 22,23,24	ผักกระเฉด	20, 40 และ 60 วัน	1.98	20 วัน
บ่อที่ 25,26,27	บ่อควบคุม	-	-	20 วัน

3.2.1 การทดลองที่ระยะเวลากักพักศาสตร์ 10 วัน บ่อทดลองที่ 1-9 ทำการป้อนน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการไหล 0.16 ลิตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 60 วัน

3.2.2 การทดลองที่ระยะเวลากักพักศาสตร์ 15 วัน บ่อทดลองที่ 10-18 ทำการป้อนน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการไหล 0.11 ลิตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 60 วัน

3.2.3 การทดลองที่ระยะเวลากักพักศาสตร์ 20 วัน บ่อทดลองที่ 19-27 ทำการป้อนน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการไหล 0.08 ลิตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 60 วัน

3.2.4 การเก็บน้ำตัวอย่าง ทำการเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้าระบบทุก 10 วัน และน้ำทิ้งที่ออกจากระบบในช่วงการทดลองที่ 20, 40 และ 60 วัน นำส่งห้องปฏิบัติการวิเคราะห์เอกซเรย์เพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าที่เคเอ็น ฟอสฟอรัส และซีโอดี

3.2.5 เก็บข้อมูลทางกายภาพระหว่างการทดลองดังนี้

- 1) ค่าพีเอช
- 2) ค่าดีไอ
- 3) สภาพภูมิอากาศ
- 4) อุณหภูมิน้ำ

3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง นำข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำทิ้งก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดที่ได้จากการทดลอง ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดปริมาณไนโตรเจนในรูปที่เคเอ็น ฟอสฟอรัสในรูปฟอสฟอรัสทั้งหมด และซีโอดีของบ่อดักของปลุกผักนึ่ง ผักกระเฉด และบ่อควบคุม ที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 10, 15 และ 20 วัน และช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืชที่ 20, 40 และ 60 วัน โดยมีวิธีการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 วิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำทิ้ง

คุณลักษณะน้ำทิ้ง	วิธีการวิเคราะห์
ซีโอดี	ใช้วิธี Open Reflux, Trirmitric
ทีเคเอ็น	ใช้วิธี Macro-Kjeldahl
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	ใช้วิธี Ascorbic Acid

ที่มา : อีสเทิร์นไทยคอนซัลติง 1992 (2547) รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา ชลบุรี อีสเทิร์นไทยคอนซัลติง 1992

3.4 เครื่องมือการรวบรวมข้อมูล

3.4.1 เครื่องมือที่ใช้ประเมินผลการทดลอง

- 1) ทีเอชมิเตอร์และกระดาษลิตมัส สำหรับตรวจวัดค่าพีเอชในน้ำ
- 2) ดีไอมิเตอร์ สำหรับตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ
- 3) เทอร์โมมิเตอร์ สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิน้ำ และอากาศ
- 4) เครื่องมือในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ สำหรับวิเคราะห์ค่า ทีเคเอ็น

ฟอสฟอรัส และซีโอดี

- 5) ชุดเครื่องมือสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ เพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.4.2 การปรับเทียบ (Calibration) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจะต้องได้รับการปรับเทียบ เพื่อความถูกต้องแม่นยำในการตรวจวัด

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 สถิติเชิงพรรณนา ค่าร้อยละในการพรรณนาข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยนำเสนอข้อมูลด้วยตารางและกราฟ

3.5.2 สถิติเชิงวิเคราะห์ เปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการลดสารไนโตรเจนฟอสฟอรัส และซีโอดี โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส โดยใช้ผักบุ้ง และผักกระเฉด นำเสนอข้อมูลดังนี้

1. สภาวะแวดล้อมในการทดลอง
2. ลักษณะทั่วไปของพืช
3. คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี

1. สภาวะแวดล้อมในการทดลอง

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการทดลองภายใต้สภาวะการณ์ธรรมชาติ โดยนำเสียที่เข้าสู่ระบบการทดลองเป็นน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส และจากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียพบว่า ตลอดระยะเวลาการทดลอง น้ำเข้าระบบมีค่า ทีเคเอ็น อยู่ในช่วง 40.00-71.60 มก. /ล. ฟอสฟอรัส อยู่ในช่วง 0.80-10.70 มก. /ล. และซีโอดี อยู่ในช่วง 70.72-137.20 มก. /ล. นอกจากนี้คุณภาพน้ำเข้าระบบในด้านอื่นๆ คือ ค่าพีเอช อยู่ในช่วง 7-8 ค่าดีไอ อยู่ในช่วง 0.07-12.56 มก. /ล. และอุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 24.0-28.0 องศาเซลเซียส ลักษณะทั่วไปของน้ำเข้าระบบ พบว่ามีลักษณะขุ่นสีน้ำตาลอ่อน มีตะกอนแขวนลอยในน้ำ และมีกลิ่นเล็กน้อย ซึ่งน้ำที่ผ่านบ่อดูดแล้วจะมีตะกอนน้อยลง

สำหรับอุณหภูมิของน้ำในบ่อดูดที่มีการปลูกพืชอุณหภูมิจะต่ำกว่าบ่อดูดที่ไม่มีพืช ทั้งนี้เนื่องจากพืชส่วนที่อยู่เหนือน้ำ คือ ก้าน ลำต้น และใบเป็นตัวขัดขวางการส่งผ่านความร้อนระหว่างบรรยากาศและน้ำ ทำให้อุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ ระยะเวลาในการทดลองอยู่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน 2547 มีฝนตกในบางวัน แต่บ่อดูดไม่ได้รับน้ำฝนโดยตรง เนื่องจากได้ทำหลังคาถันฝนสำหรับบ่อดูด โดยเป็นหลังคาทำจากพลาสติกใส สภาพอากาศโดยทั่วไป พบว่ามีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24-36 องศาเซลเซียส ค่าปริมาณน้ำฝนอยู่ในช่วง 20-80 มม. และค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 70-80%

2. ลักษณะทั่วไปของพืช

การเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดลองหลังจากเริ่มปลูกจะแตกต่างกันในแต่ละระยะเวลากักพักผลศาสตร์ดังนี้

2.1 ผักบุ้ง

2.1.1 การเจริญเติบโตของผักบุ้งในบ่อทดลองที่ระยะเวลากักพักผลศาสตร์ 10 วัน มีการเจริญเติบโตในส่วนของลำต้น ใบ และออกดอกในช่วงอายุการเจริญเติบโต 14 วันหลังจากเริ่มปลูกในบ่อทดลอง ลักษณะของใบมีสีเขียวแก่และบางใบมีสีเขียวอ่อน และมีการเจริญเติบโตของสาหร่ายรวมอยู่ด้วยน้ำหนักโดยเฉลี่ยหลังจากครบ 60 วัน เท่ากับ 0.9 กิโลกรัม ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 บ่อทดลองปลูกผักบุ้งที่ระยะเวลากักพักผลศาสตร์ 10 วัน

2.1.2 การเจริญเติบโตของผักบุ้งในบ่อทดลองที่ระยะเวลากักพักผลศาสตร์ 15 วัน มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วทั้งในส่วนขนาดของลำต้น ใบ ความยาว และการออกดอก เริ่มออกดอกก่อนผักบุ้งในบ่อทดลองที่ระยะเวลากักพักผลศาสตร์ 10 และ 20 วัน โดยออกดอกในช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง 10 วันหลังจากเริ่มปลูกในบ่อทดลอง น้ำหนักโดยเฉลี่ยหลังจากครบ 60 วัน เท่ากับ 1.3 กิโลกรัม ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 บ่อทดลองปลูกผักบุ้งที่ระยะเวลากักพักชดสาศตร์ 15 วัน

2.1.3 การเจริญเติบโตของผักบุ้งในบ่อทดลองที่ระยะเวลากักพักชดสาศตร์ 20 วัน

ในช่วงวันที่ 1-40 ของการทดลอง มีการแตกยอดอ่อนเพียงเล็กน้อย ลักษณะของใบมีสีเขียวซีด ใบมีขนาดเล็ก และไม่ออกดอก และมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลา 41-60 วัน ทำให้น้ำหนักโดยเฉลี่ยหลังจากครบ 60 วัน มีค่าเท่ากับ 1.1 กิโลกรัม ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 บ่อทดลองปลูกผักบุ้งที่ระยะเวลากักพักชดสาศตร์ 20 วัน

2.2 ผักกระเฉด

2.2.1 การเจริญเติบโตของผักกระเฉดในบ่อกดลองที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน

วัน มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วทั้งในส่วนของลำต้น การแตกยอดอ่อน ความยาว และการออกดอก เริ่มออกดอกในช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเฉด 10 วัน หลังจากเริ่มปลูกในบ่อกดลอง น้ำหนักโดยเฉลี่ยหลังจากครบ 60 วัน เท่ากับ 0.8 กิโลกรัม ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 บ่อกดลองปลูกผักกระเฉดที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน

2.2.2 การเจริญเติบโตของผักกระเฉดในบ่อกดลองที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน

วัน มีการเจริญเติบโตในส่วนของลำต้น ใบ การแตกยอดอ่อน และออกดอกในช่วงอายุการเจริญเติบโตที่ 10 วันหลังจากเริ่มปลูก ลักษณะของใบมีสีเขียวแก่และบางใบมีสีเขียวอ่อน และเริ่มตายในช่วง 40-60 วันในบางส่วน ทำให้น้ำหนักโดยเฉลี่ยหลังจากครบ 60 วัน เท่ากับ 0.3 กิโลกรัม ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 บ่อทดลองปลูกผักกระเฉดที่ระยะเวลากักพักชดสาศตร์ 15 วัน

2.2.3 การเจริญเติบโตของผักกระเฉดในบ่อทดลองที่ระยะเวลากักพักชดสาศตร์ 20 วัน มีการแตกยอดอ่อนเพียงเล็กน้อย ลักษณะของใบมีสีเหลืองซีด ในช่วง 20 วันแรก และออกดอก ในช่วงอายุการเจริญเติบโต 12 วัน และมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลา 40-60 วัน ทำให้น้ำหนักโดยเฉลี่ยหลังจากครบ 60 วัน มีค่าเท่ากับ 0.4 กิโลกรัม ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 บ่อทดลองปลูกผักกระเฉดที่ระยะเวลากักพักชดสาศตร์ 20 วัน

2.3 บ่อควบคุม

2.3.1 บ่อควบคุมที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 10 วัน มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายเป็นจำนวนมาก น้ำในบ่อทดลองมีสีเขียวของสาหร่ายตั้งแต่ช่วงการทดลองที่ 10-60 วัน ดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 บ่อควบคุมที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 10 วัน

2.3.2 บ่อควบคุมที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 15 วัน น้ำในบ่อทดลองมีสีน้ำตาลและขุ่นในช่วงการทดลองที่ 20 วันแรก และใสในช่วง 40-60 วัน มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายเล็กน้อย ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 บ่อควบคุมที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 15 วัน

2.3.3 บ่อควบคุมที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 20 วัน น้ำในบ่อทดลองมีสีน้ำตาล และขุ่น ตลอดจนการทดลอง มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายเล็กน้อย ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 บ่อควบคุมที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 20 วัน

3. คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี

3.1 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำเข้าและออกจากบ่อทดลอง

3.1.1 ที่เคเอ็น

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็นของคุณภาพน้ำเข้าและออกจากบ่อดูด

ช่วงอายุการเจริญเติบโต (วัน)	น้ำเข้า (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็นของน้ำออก (มก./ล.)								
		HRT 10 วัน			HRT 15 วัน			HRT 20 วัน		
		ผักบุ้ง	กระเจด	คววม	ผักบุ้ง	กระเจด	คววม	ผักบุ้ง	กระเจด	คววม
20	42.10 (S.D. = 29.70)	6.50 (S.D. = 1.65)	11.43 (S.D. = 4.18)	7.47 (S.D. = 0.57)	8.70 (S.D. = 1.23)	20.17 (S.D. = 2.46)	12.57 (S.D. = 1.22)	12.80 (S.D. = 2.35)	17.10 (S.D. = 3.06)	12.47 (S.D. = 2.00)
40	40.15 (S.D. = .21)	7.03 (S.D. = 2.30)	16.60 (S.D. = 2.67)	7.10 (S.D. = 0.90)	5.67 (S.D. = 1.52)	12.40 (S.D. = 1.15)	3.90 (S.D. = 0.17)	4.00 (S.D. = 0.30)	6.03 (S.D. = 1.26)	4.83 (S.D. = 0.87)
60	56.90 (S.D. = 17.19)	7.03 (S.D. = 4.07)	24.50 (S.D. = 1.93)	11.23 (S.D. = 2.81)	10.58 (S.D. = 6.67)	15.40 (S.D. = 12.52)	5.20 (S.D. = 0.92)	7.10 (S.D. = 2.55)	4.63 (S.D. = 0.60)	6.07 (S.D. = 1.72)

จากตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็นของน้ำเข้าบ่อดูดที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 42.10, 40.15 และ 56.90 มก./ล. ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็นของน้ำออกจากบ่อดูดที่ระยะเวลาพักพืชศาสตร์ 10 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 6.50, 7.03 และ 7.03 มก./ล. ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเจด 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 11.43, 16.60 และ 24.50 มก./ล. ตามลำดับ และบ่อคววมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 7.47, 7.10 และ 11.23 มก./ล. ตามลำดับ ที่ระยะเวลาพักพืชศาสตร์ 15 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 8.70, 5.67 และ 10.58 มก./ล. ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเจด 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 20.17, 12.40 และ 15.40 มก./ล. ตามลำดับ และบ่อคววมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 12.57, 3.90 และ 5.20 มก./ล. ตามลำดับ ที่ระยะเวลาพักพืชศาสตร์ 20 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 12.80, 4.00 และ 7.10 มก./ล. ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเจด 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 17.10, 6.03 และ 4.63 มก./ล. ตามลำดับ และบ่อคววมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 12.47, 4.83 และ 6.07 มก./ล. ตามลำดับ

3.1.2 ฟอสฟอรัสทั้งหมด

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของคุณภาพน้ำเข้าและออกจากบ่อดูด

ช่วงอายุการเจริญเติบโต (วัน)	น้ำเข้า (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำออก (มก./ล.)								
		HRT 10 วัน			HRT 15 วัน			HRT 20 วัน		
		ผักบุ้ง	กระเจต	คววม	ผักบุ้ง	กระเจต	คววม	ผักบุ้ง	กระเจต	คววม
20	1.38 (S.D. = 0.40)	2.14 (S.D. = 0.91)	2.54 (S.D. = 0.28)	1.74 (S.D. = 0.59)	1.81 (S.D. = 0.87)	2.33 (S.D. = 8.08E-02)	1.90 (S.D. = 0.79)	1.35 (S.D. = 0.27)	1.85 (S.D. = 0.24)	1.85 (S.D. = 0.24)
40	1.60 (S.D. = 1.12)	1.09 (S.D. = 0.42)	2.04 (S.D. = 0.39)	0.99 (S.D. = 0.26)	0.72 (S.D. = 0.10)	2.03 (S.D. = 1.04)	1.11 (S.D. = 0.42)	0.49 (S.D. = 7.51E-02)	1.22 (S.D. = 0.64)	2.24 (S.D. = 0.15)
60	6.31 (S.D. = 3.81)	1.18 (S.D. = 0.57)	4.66 (S.D. = 0.90)	1.27 (S.D. = 0.35)	0.51 (S.D. = 8.15E-02)	3.26 (S.D. = 1.38)	1.10 (S.D. = 0.17)	0.40 (S.D. = 0.20)	2.14 (S.D. = 0.42)	2.01 (S.D. = 0.71)

จากตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเข้าบ่อดูดในช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 1.38, 1.60 และ 6.31 มก./ล. ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำออกจากบ่อดูดที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 2.14, 1.09 และ 1.18 มก./ล. ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเจต 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 2.54, 2.04 และ 4.66 มก./ล. ตามลำดับ และบ่อดูดคววมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 1.74, 0.99 และ 1.27 มก./ล. ตามลำดับ ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 1.81, 0.72 และ 0.51 มก./ล. ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเจต 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 2.33, 2.03 และ 3.26 มก./ล. ตามลำดับ และบ่อดูดคววมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 1.90, 1.11 และ 1.10 มก./ล. ตามลำดับ ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 1.35, 0.49 และ 0.40 มก./ล. ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเจต 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 1.85, 1.22 และ 2.14 มก./ล. ตามลำดับ และบ่อดูดคววมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 1.85, 2.24 และ 2.01 มก./ล. ตามลำดับ

3.1.3 ซีโอดี

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยซีโอดีของคุณภาพน้ำเข้าและออกจากบ่อดูด

ช่วงอายุ การ เจริญเติบโต (วัน)	น้ำเข้า (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำออก (มก./ล.)								
		HRT 10 วัน			HRT 15 วัน			HRT 20 วัน		
		ผักบุ้ง	กระเจต	ควบคุม	ผักบุ้ง	กระเจต	ควบคุม	ผักบุ้ง	กระเจต	ควบคุม
20	89.92 (S.D. = 27.15)	92.30 (S.D. = 6.99)	74.07 (S.D. = 16.53)	118.55 (S.D. = 7.76)	134.70 (S.D. = 35.49)	83.99 (S.D. = 15.15)	60.60 (S.D. = 2.28)	63.89 (S.D. = 7.98)	80.02 (S.D. = 16.64)	75.09 (S.D. = 10.45)
40	117.05 (S.D. = 19.64)	130.28 (S.D. = 6.38)	109.18 (S.D. = 8.66)	132.27 (S.D. = 18.76)	144.84 (S.D. = 20.71)	105.71 (S.D. = 17.42)	75.96 (S.D. = 16.71)	94.85 (S.D. = 6.85)	84.32 (S.D. = 9.99)	75.09 (S.D. = 10.45)
60	125.85 (S.D. = 12.25)	120.18 (S.D. = 15.98)	131.03 (S.D. = 27.33)	173.97 (S.D. = 22.65)	134.15 (S.D. = 8.29)	101.19 (S.D. = 22.44)	86.32 (S.D. = 15.08)	120.85 (S.D. = 11.50)	126.49 (S.D. = 12.15)	90.97 (S.D. = 13.26)

จากตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำเข้าบ่อดูดที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 89.92, 117.05 และ 125.85 มก./ล. ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำออกจากบ่อดูดที่ระยะเวลาพักชดสสาร 10 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 92.30, 130.28 และ 120.18 มก./ล. ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเจต 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 74.07, 109.18 และ 131.03 มก./ล. ตามลำดับ และบ่อบควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 118.55, 132.27 และ 173.97 มก./ล. ตามลำดับ ที่ระยะเวลาพักชดสสาร 15 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 134.70, 144.84 และ 134.15 มก./ล. ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเจต 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 83.99, 105.71 และ 101.19 มก./ล. ตามลำดับ และบ่อบควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 60.60, 75.96 และ 86.32 มก./ล. ตามลำดับ ที่ระยะเวลาพักชดสสาร 20 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 63.89, 94.85 และ 120.85 มก./ล. ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเจต 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 80.02, 84.32 และ 126.49 มก./ล. ตามลำดับ และบ่อบควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็น 75.09, 75.09 และ 90.97 มก./ล. ตามลำดับ

3.2 ประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี

3.2.1 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน

ช่วงอายุการ เจริญเติบโต (วัน)	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน (ร้อยละ)								
	HRT 10 วัน			HRT 15 วัน			HRT 20 วัน		
	ผักนึ่ง	กระเจต	ควบคุม	ผักนึ่ง	กระเจต	ควบคุม	ผักนึ่ง	กระเจต	ควบคุม
20	84.56	72.84	82.26	79.33	52.10	70.15	69.60	59.38	70.39
	(S.D. = 3.92)	(S.D. = 9.93)	(S.D. = 1.35)	(S.D. = 2.91)	(S.D. = 5.84)	(S.D. = 2.90)	(S.D. = 5.59)	(S.D. = 7.27)	(S.D. = 4.76)
40	82.48	58.66	82.32	85.89	69.12	90.29	90.04	84.97	87.96
	(S.D. = 5.73)	(S.D. = 6.64)	(S.D. = 2.25)	(S.D. = 3.80)	(S.D. = 2.87)	(S.D. = 0.43)	(S.D. = 0.75)	(S.D. = 3.13)	(S.D. = 2.18)
60	87.64	56.94	83.07	81.52	72.93	92.16	87.52	91.86	90.86
	(S.D. = 7.16)	(S.D. = 3.39)	(S.D. = 4.24)	(S.D. = 11.73)	(S.D. = 22.01)	(S.D. = 1.38)	(S.D. = 4.48)	(S.D. = 1.06)	(S.D. = 2.60)

จากตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลาพักผักสด ศาสตร์ 10 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักนึ่ง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 84.56, 82.48 และ 87.64 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเจต 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 72.84, 58.66 และ 56.94 ตามลำดับ และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 82.26, 82.32 และ 83.07 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาพักผักสดศาสตร์ 15 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักนึ่ง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 79.33, 85.89 และ 81.52 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเจต 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 52.10, 69.12 และ 72.93 ตามลำดับ และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 70.15, 90.29 และ 92.16 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาพักผักสดศาสตร์ 20 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักนึ่ง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 69.60, 90.04 และ 87.52 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเจต 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 59.38, 84.97 และ 91.86 ตามลำดับ และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 70.39, 87.96 และ 90.86 ตามลำดับ

3.2.2 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัส

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัส

ช่วงอายุการ เจริญเติบโต (วัน)	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัส (ร้อยละ)								
	HRT 10 วัน			HRT 15 วัน			HRT 20 วัน		
	ผักนึ่ง	กระเจต	ควบคุม	ผักนึ่ง	กระเจต	ควบคุม	ผักนึ่ง	กระเจต	ควบคุม
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.17	0.00	0.00
	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 19.22)	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 0.00)
40	31.88	0.00	38.33	55.21	0.00	30.42	69.58	23.75	0.00
	(S.D. = 11.73)	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 16.25)	(S.D. = 6.26)	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 26.41)	(S.D. = 4.69)	(S.D. = 39.72)	(S.D. = 0.00)
60	83.68	26.10	79.82	91.34	48.34	82.51	92.29	66.09	68.15
	(S.D. = 8.16)	(S.D. = 14.22)	(S.D. = 5.54)	(S.D. = 2.38)	(S.D. = 21.81)	(S.D. = 2.62)	(S.D. = 2.53)	(S.D. = 6.62)	(S.D. = 11.30)

จากตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลาพักผักชลศาสตร์ 10 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักนึ่ง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 0.00, 31.88 และ 83.68 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเจต 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 0.00, 0.00 และ 26.10 ตามลำดับ และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 0.00, 38.33 และ 79.82 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาพักผักชลศาสตร์ 15 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักนึ่ง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 0.00, 55.21 และ 91.34 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเจต 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 0.00, 0.00 และ 48.34 ตามลำดับ และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 0.00, 30.42 และ 82.51 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาพักผักชลศาสตร์ 20 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักนึ่ง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 2.17, 69.58 และ 92.29 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเจต 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 0.00, 23.75 และ 66.09 ตามลำดับ และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 0.00, 0.00 และ 68.15 ตามลำดับ

3.2.3 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีไอดี

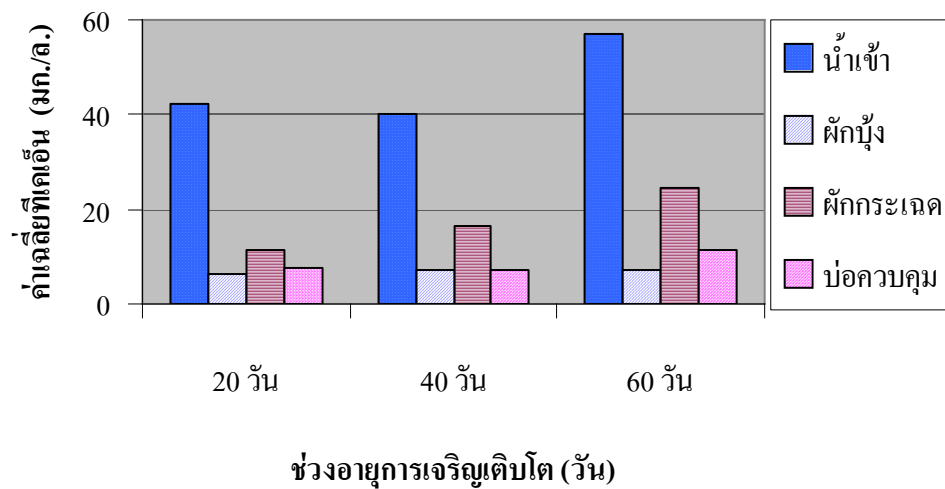
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีไอดี

ช่วงอายุ การ เจริญเติบโต (วัน)	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีไอดี (ร้อยละ)								
	HRT 10 วัน			HRT 15 วัน			HRT 20 วัน		
	ผักนึ่ง	กระเจต	ควบคุม	ผักนึ่ง	กระเจต	ควบคุม	ผักนึ่ง	กระเจต	ควบคุม
20	0.00	17.63	0.00	0.00	6.59	32.61	28.95	11.01	16.50
	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 18.38)	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 16.85)	(S.D. = 2.53)	(S.D. = 8.88)	(S.D. = 18.50)	(S.D. = 11.63)
40	0.00	6.73	0.00	0.00	9.82	35.11	18.98	27.97	35.86
	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 7.34)	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 15.09)	(S.D. = 14.27)	(S.D. = 5.85)	(S.D. = 8.53)	(S.D. = 8.93)
60	4.50	0.00	0.00	0.00	19.59	31.41	3.97	0.00	27.72
	(S.D. = 12.70)	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 17.83)	(S.D. = 11.98)	(S.D. = 9.14)	(S.D. = 0.00)	(S.D. = 10.54)

จากตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีไอดีที่ระยะเวลาพักผักผล
ศาสตร์ 10 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักนึ่ง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 0.00, 0.00
และ 4.50 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเจต 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ
17.63, 6.73 และ 0.00 ตามลำดับ และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อย
ละ 0.00, 0.00 และ 0.00 ตามลำดับ ที่ระยะเวลากักพักผลศาสตร์ 15 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต
ของผักนึ่ง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 0.00, 0.00 และ 0.00 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการ
เจริญเติบโตของผักกระเจต 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 6.59, 9.82 และ 19.59 ตามลำดับ
และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 32.61, 35.11 และ 31.41
ตามลำดับ ที่ระยะเวลากักพักผลศาสตร์ 20 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักนึ่ง 20, 40 และ 60
วัน มีค่าเป็นร้อยละ 28.95, 18.98 และ 3.97 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเจต 20,
40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 11.01, 27.97 และ 0.00 ตามลำดับ และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง
20, 40 และ 60 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 16.50, 35.86 และ 27.72 ตามลำดับ

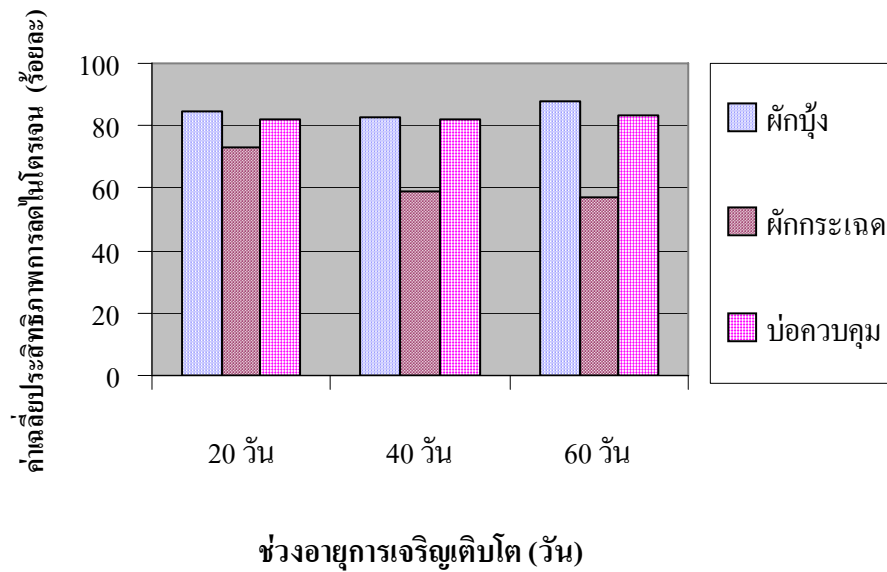
3.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลด ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี

3.3.1 ไนโตรเจนในรูปที่เคเอ็น



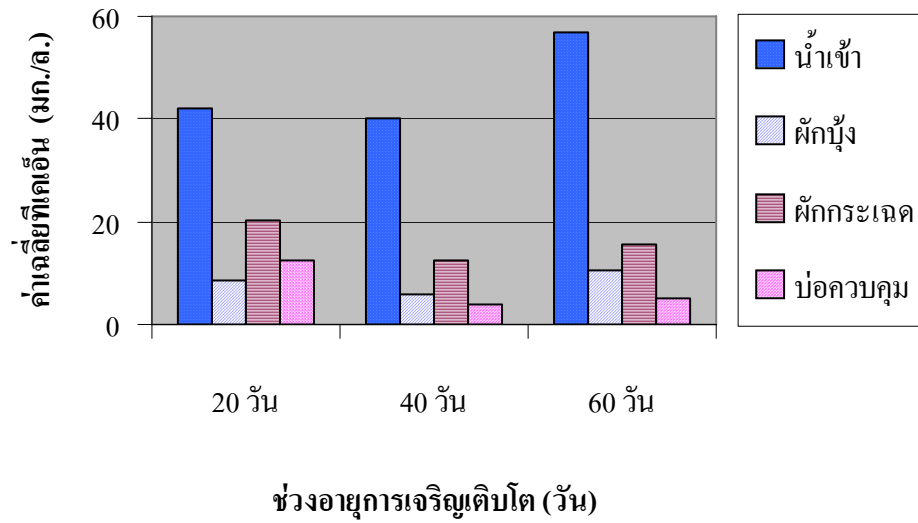
ภาพที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็น (mg./ล.) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน

จากภาพที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็นของน้ำออกจากบ่อทดลองที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วันในช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบั้งและของผักกระเฉด 20, 40 และ 60 วัน และบ่อควบคุมในช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าต่ำกว่าน้ำเข้าระบบและไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของกฎหมาย



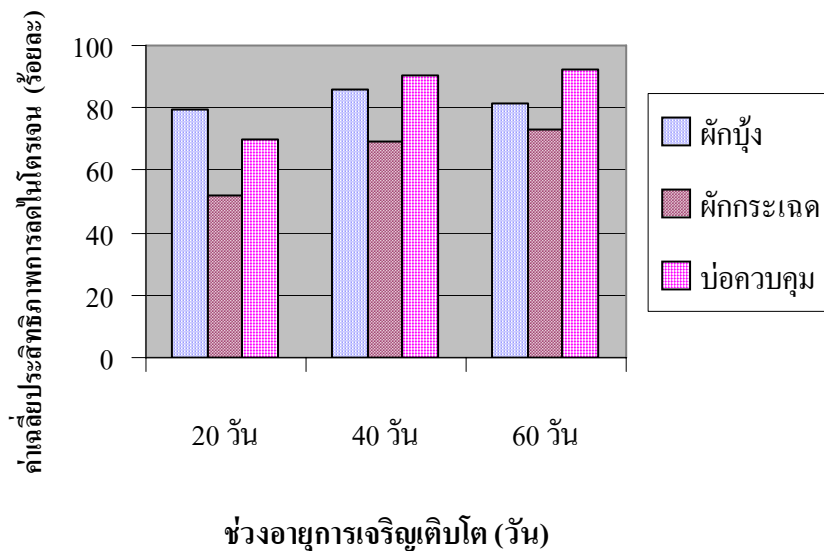
ภาพที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนที่ระยะเวลาปักชำ 10 วัน

จากภาพที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาปักชำ 10 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วัน พบว่าฝักบุ้งมีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนสูงสุด รองลงมา คือ บ่อควบคุม และฝักกระเจด โดยตรึงไนโตรเจนได้ร้อยละ 84.56, 82.26 และ 72.84 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน พบว่าฝักบุ้งมีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนสูงสุด รองลงมา คือ บ่อควบคุม และฝักกระเจด โดยตรึงไนโตรเจนได้ร้อยละ 82.48, 82.32 และ 58.66 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วัน พบว่าฝักบุ้งมีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนสูงสุด รองลงมา คือ บ่อควบคุม และฝักกระเจด ตามลำดับ โดยตรึงไนโตรเจนได้ร้อยละ 87.64, 83.07 และ 56.94 ตามลำดับ



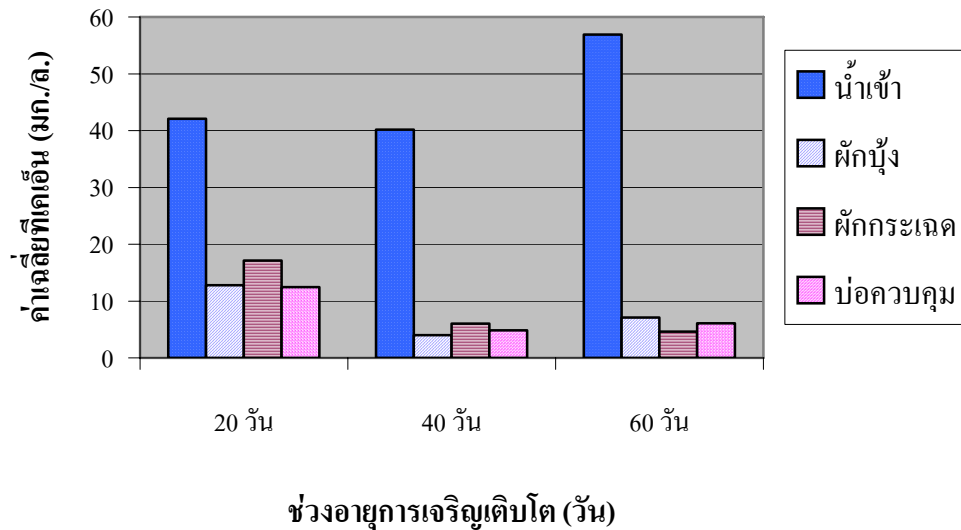
ภาพที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็น (มก./ล.) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน

จากภาพที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็นของน้ำออกที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของปุ๋ยคอกและของปุ๋ยกระเจด 20, 40 และ 60 วัน และปุ๋ยควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าต่ำกว่าน้ำเข้าระบบและไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของกฎหมาย



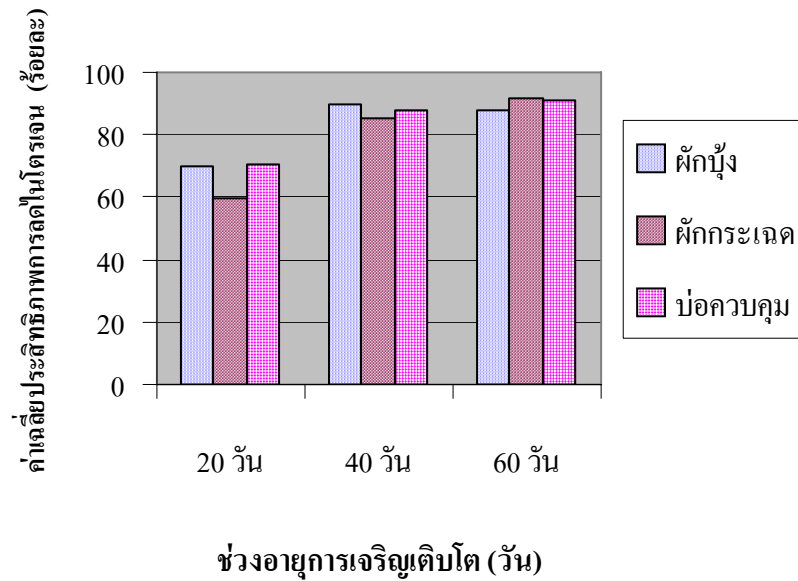
ภาพที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน

จากภาพที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่ระยะเวลา กักพักชลศาสตร์ 15 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วันพบว่าผักบุ้งมีประสิทธิภาพการลด ไนโตรเจนสูงสุด รองลงมา คือ บ่อควบคุม และผักกระเฉด โดยลดไนโตรเจนได้ร้อยละ 79.33, 70.15 และ 52.10 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน พบว่าบ่อควบคุมมีประสิทธิภาพการลด ไนโตรเจนสูงสุด รองลงมา คือ ผักบุ้ง และผักกระเฉด โดยลดไนโตรเจนได้ร้อยละ 90.29, 85.89 และ 69.12 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วัน พบว่าบ่อควบคุมมีประสิทธิภาพในการลด ไนโตรเจนสูงสุด รองลงมา คือ ผักบุ้ง และ ผักกระเฉด โดยลดไนโตรเจนได้ร้อยละ 92.16, 81.52 และ 72.93 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็น (มก./ล.) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน

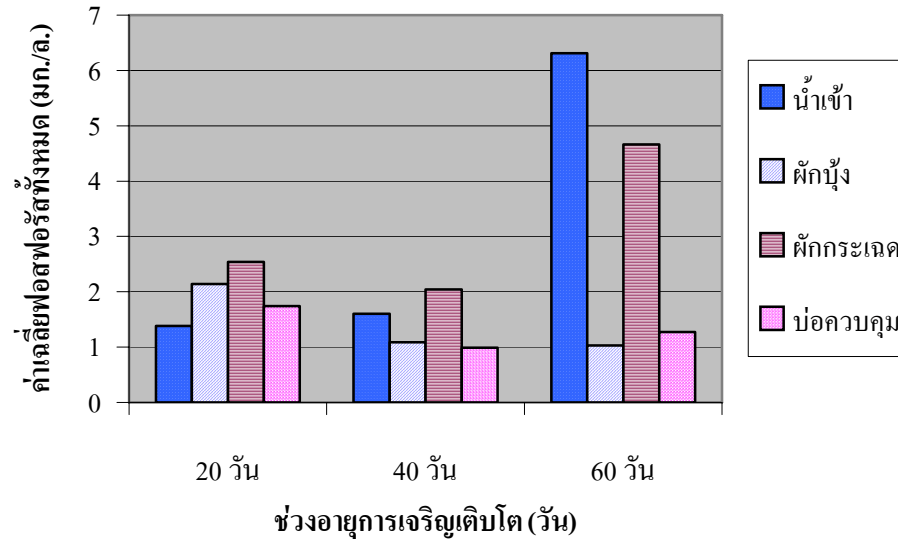
จากภาพที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็นของน้ำออกจากบ่อทดลองที่ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 20 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้งและของผักกระเฉด 20, 40 และ 60 วัน และบ่อ ควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าต่ำกว่าน้ำเข้าระบบและไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของ กฎหมาย



ภาพที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน

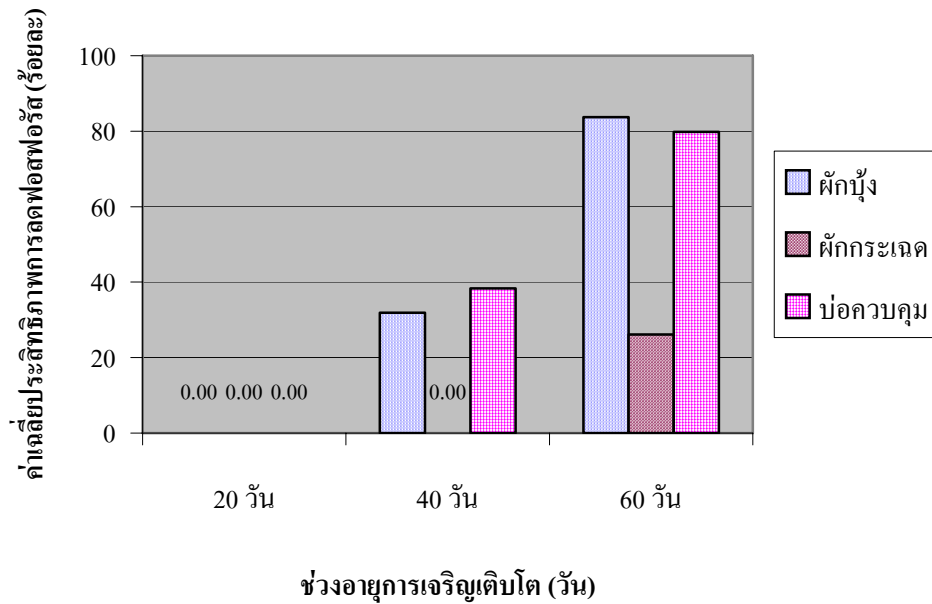
จากภาพที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วันพบว่าบ่อควบคุมมีประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนสูงสุด รองลงมา คือ ฝักบุง และฝักกระเจด โดยลดไนโตรเจนได้ร้อยละ 70.39, 69.60 และ 59.38 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน พบว่าฝักบุงมีประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนสูงสุด รองลงมา คือ บ่อควบคุม และฝักกระเจด โดยลดไนโตรเจนได้ร้อยละ 90.04, 87.96 และ 84.97 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วัน พบว่าฝักกระเจดมีประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนสูงสุดเป็น รองลงมา คือ บ่อควบคุม และฝักบุง โดยลดไนโตรเจนได้ร้อยละ 91.86, 90.86 และ 87.52 ตามลำดับ

3.3.2 ฟอสฟอรัสในรูปฟอสฟอรัสทั้งหมด



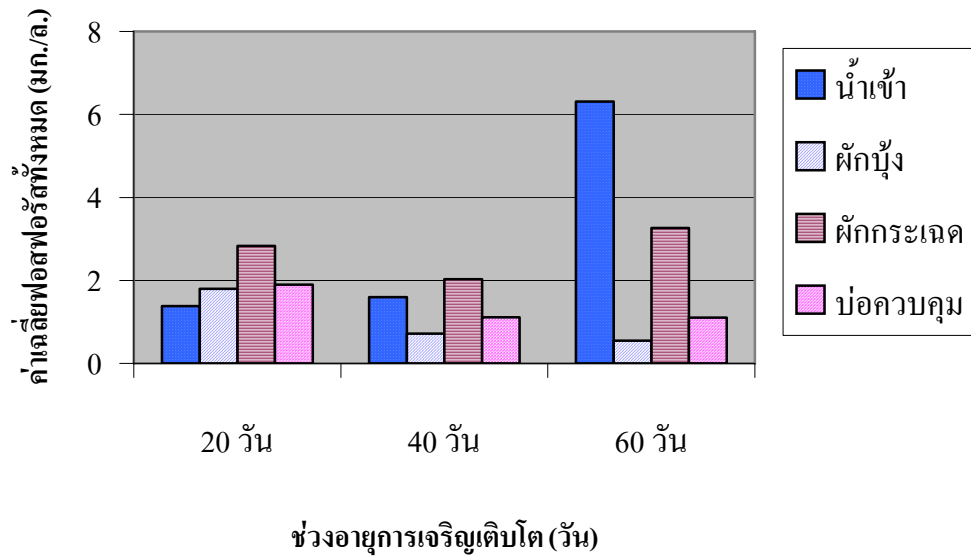
ภาพที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.) ที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10 วัน

จากภาพที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำออกที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของฟักบั้ง และฟักกระเจด 20 วัน และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20 วัน มีค่ามากกว่าน้ำเข้าระบบ และที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของฟักบั้ง 40 วันและ 60 วัน ฟักกระเจด 60 วัน และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20 และ 40 วัน มีค่าต่ำกว่าน้ำเข้าระบบ



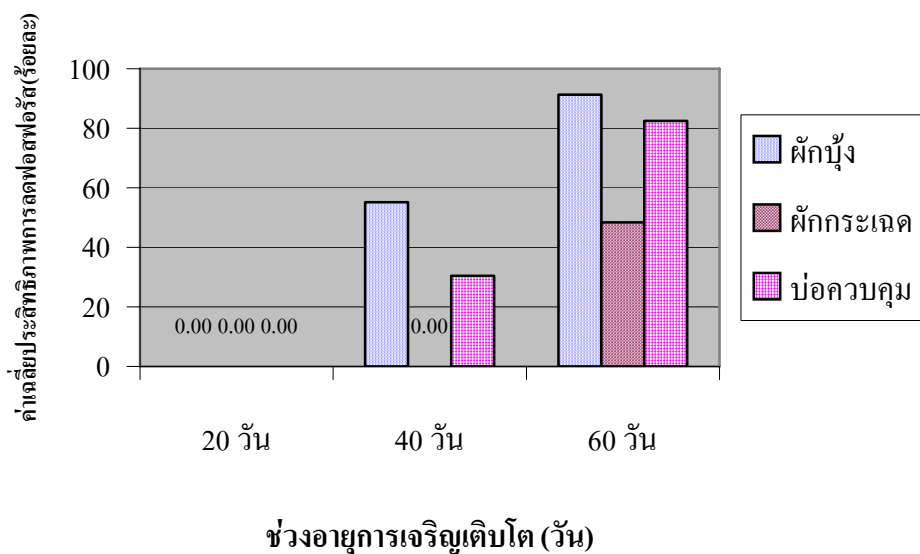
ภาพที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10 วัน

จากภาพที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10 วัน และที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วันพบว่าผักบุ้ง ผักกระเฉด และบ่อควบคุมไม่มีประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน พบว่าบ่อควบคุมมีประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสสูงสุด รองลงมา คือ ผักบุ้ง โดยลดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 38.33 และ 31.88 ตามลำดับ และพบว่าผักกระเฉดไม่มีประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส ช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วัน พบว่าผักบุ้งมีประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสสูงสุด รองลงมา คือ บ่อควบคุม และผักกระเฉด โดยลดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 83.68, 79.82 และ 26.10 ตามลำดับ



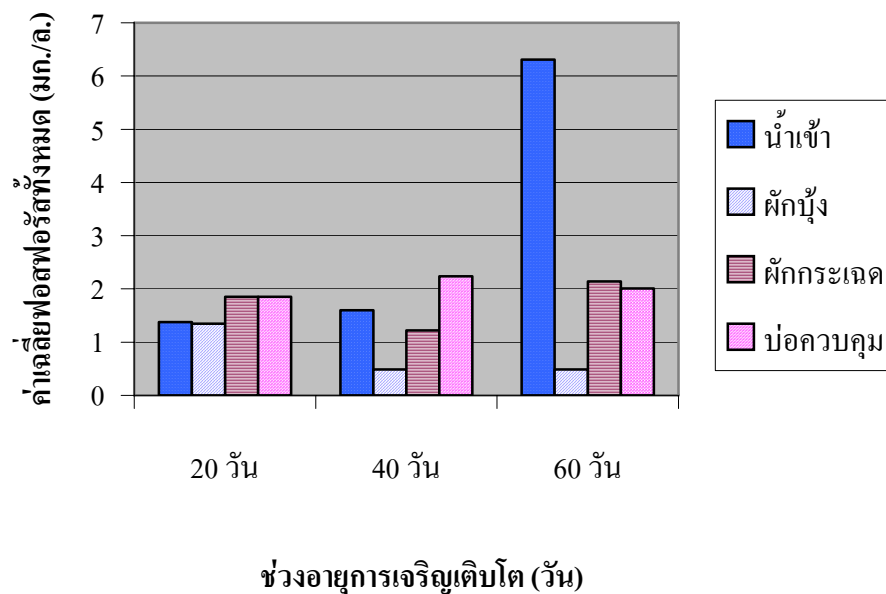
ภาพที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.) ที่ระยะเวลาพักผักสด 15 วัน

จากภาพที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำออกที่ระยะเวลาพักผักสด 15 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบู่ 20 วัน ของผักกระเฉด 20 และ 40 วัน และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20 วัน มีค่ามากกว่าน้ำเข้าระบบ และที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบู่ 40 และ 60 วัน ของผักกระเฉด 60 วัน และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง 40 และ 60 วัน มีค่าต่ำกว่าน้ำเข้าระบบ



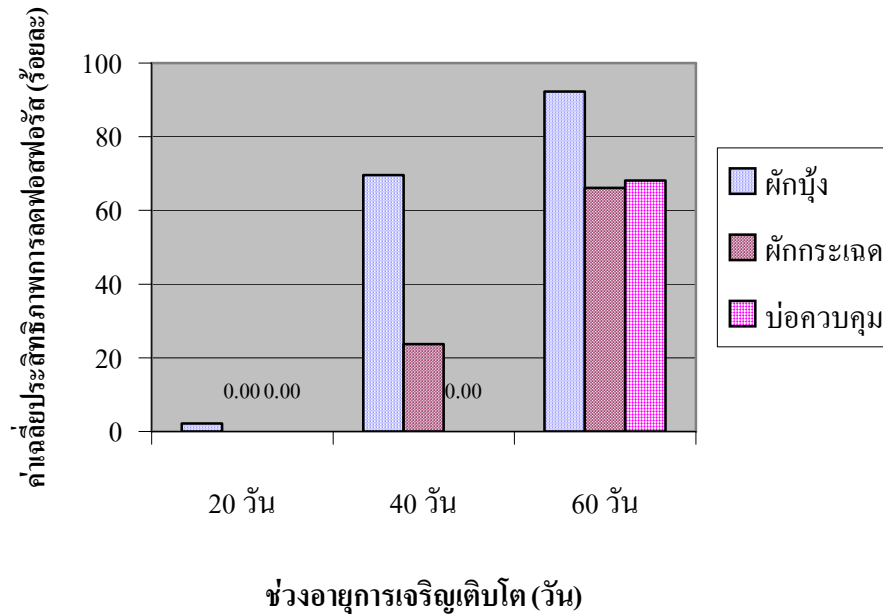
ภาพที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลาพักผักสด 15 วัน

จากภาพที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งที่ระยะเวลา กักพักชลศาสตร์ 15 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วันพบว่าผักบุ้ง ผักกระเฉด และบ่อควบคุมไม่มีประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน พบว่าผักบุ้งมีประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสสูงสุด รองลงมา คือ บ่อควบคุม โดยลดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 52.21 และ 30.42 ตามลำดับ และพบว่าผักกระเฉดไม่มีประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วัน พบว่าผักบุ้งมีประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสสูงสุด รองลงมา คือ บ่อควบคุม และผักกระเฉด โดยลดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 91.34, 82.51 และ 48.34 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน

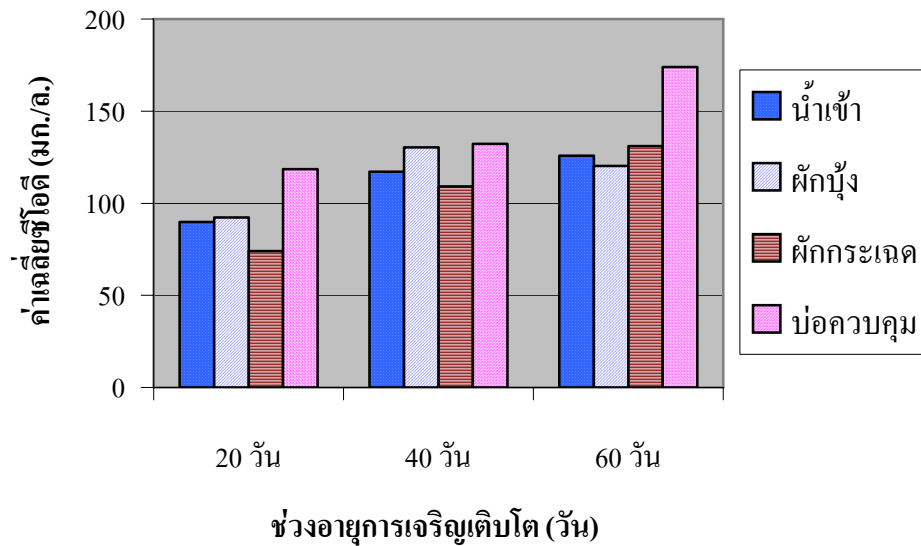
จากภาพที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำออกที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเฉด 20 วัน และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20 และ 40 วัน พบว่ามีค่ามากกว่าน้ำเข้าระบบ และที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง 20, 40 และ 60 วัน ของผักกระเฉด 40 และ 60 วัน และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง 60 วัน มีค่าต่ำกว่าน้ำเข้าระบบ



ภาพที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน

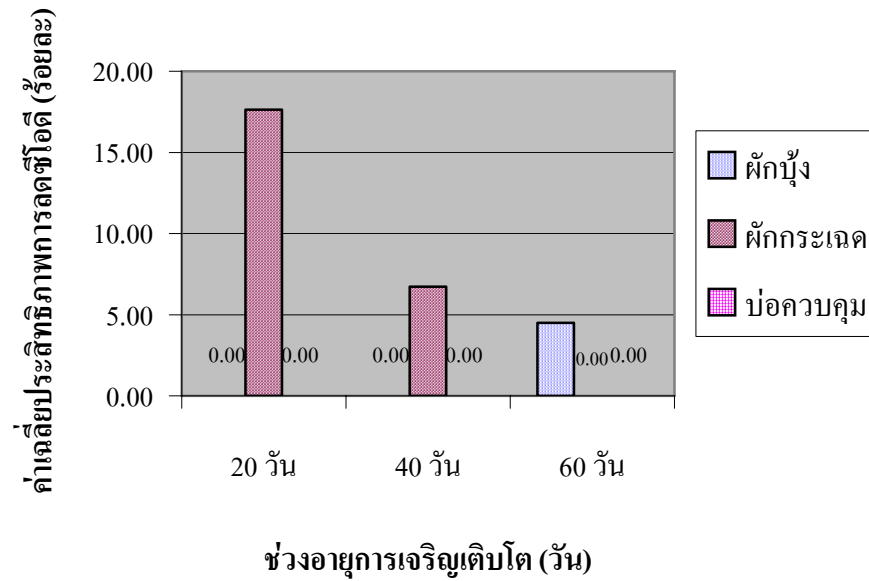
จากภาพที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วันพบว่าฝักนึ่งมีประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสเป็นร้อยละ 2.17 และพบว่าฝักกระเจด และบ่อควบคุมไม่มีประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน พบว่าฝักนึ่งมีประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสสูงรองลงมา คือ ฝักกระเจด โดยลดไนโตรเจนได้ร้อยละ 69.58 และ 23.75 ตามลำดับ และพบว่าบ่อควบคุมไม่มีประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วัน พบว่าฝักนึ่งมีประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสสูงสุด รองลงมา คือ บ่อควบคุม และฝักกระเจด โดยลดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 92.29, 68.15 และ 66.09 ตามลำดับ

3.3.3 ซีโอดี



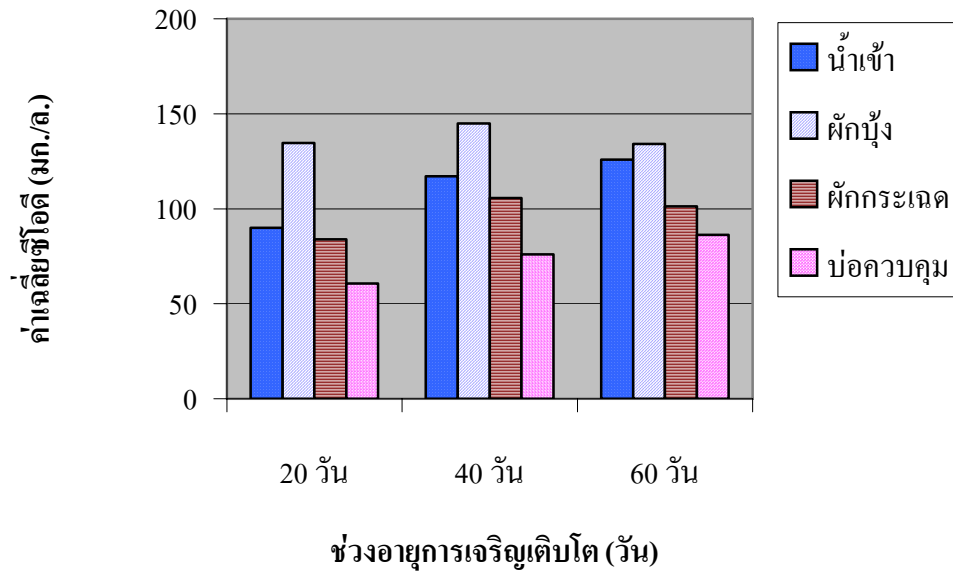
ภาพที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล) ที่ระยะเวลาพักชดสาศตร์ 10 วัน

จากภาพที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำออกที่ระยะเวลาพักชดสาศตร์ 10 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของฟักบั้ง 20 และ 40 วัน ของฟักกระเจด 60 วัน และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าสูงกว่าน้ำเข้าระบบ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต ของฟักบั้ง 60 วัน ของฟักกระเจด 40 และ 60 วัน มีค่าต่ำกว่าน้ำเข้าระบบ และพบว่าที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของฟักบั้ง 40 และ 60 วัน ของฟักกระเจด 60 วัน และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง 60 วัน มีค่าเฉลี่ยซีโอดีเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกฎหมาย



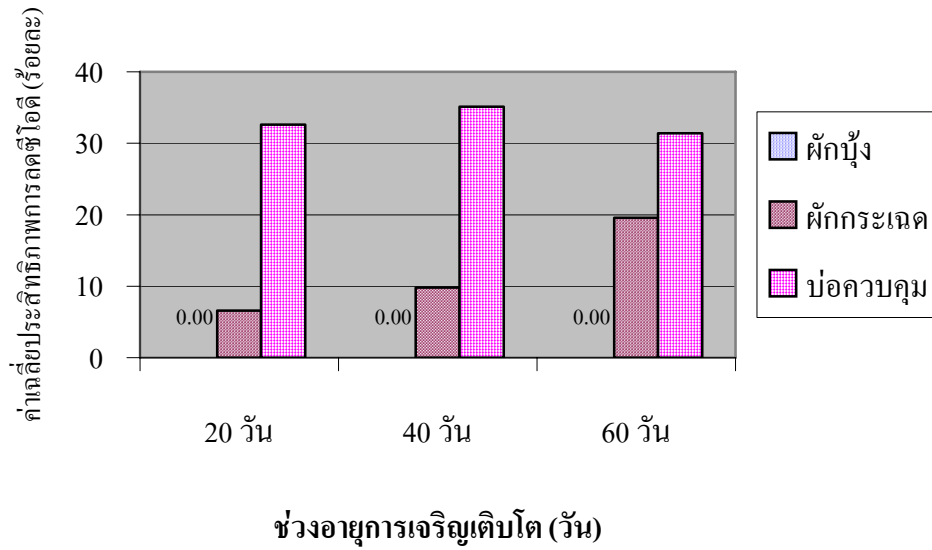
ภาพที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10 วัน

จากภาพที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วันพบว่าฝักกระเจดมีประสิทธิภาพในการลดซีโอดีเป็น ร้อยละ 17.63 และพบว่าฝักบุงและบ่อควบคุมไม่มีประสิทธิภาพในการลดซีโอดี ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน พบว่าฝักกระเจดมีประสิทธิภาพในการลดซีโอดีเป็นร้อยละ 6.73 และพบว่าฝักบุงและบ่อควบคุมไม่มีประสิทธิภาพในการลดซีโอดี ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วันพบว่าฝักบุงมีประสิทธิภาพในการลดซีโอดีเป็นร้อยละ 4.50 และพบว่าฝักกระเจดและบ่อควบคุมไม่มีประสิทธิภาพในการลดซีโอดี



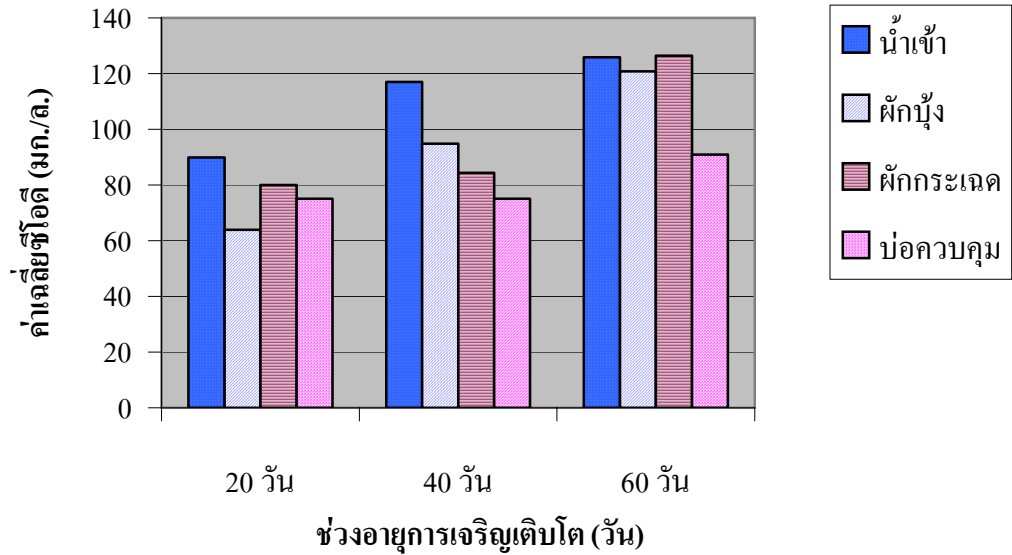
ภาพที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล) ที่ระยะเวลาพักพิงชลศาสตร์ 15 วัน

จากภาพที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำออกที่ระยะเวลาพักพิงชลศาสตร์ 15 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผัดกรอง 20, 40 วัน และ 60 วัน มีค่าสูงกว่าน้ำเข้าระบบ และที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผัดกระแฉะ 20, 40 และ 60 วัน และบ่อกวนคুমที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าต่ำกว่าน้ำเข้าระบบ และพบว่าที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผัดกรอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าเฉลี่ยซีโอดีเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกฎหมาย



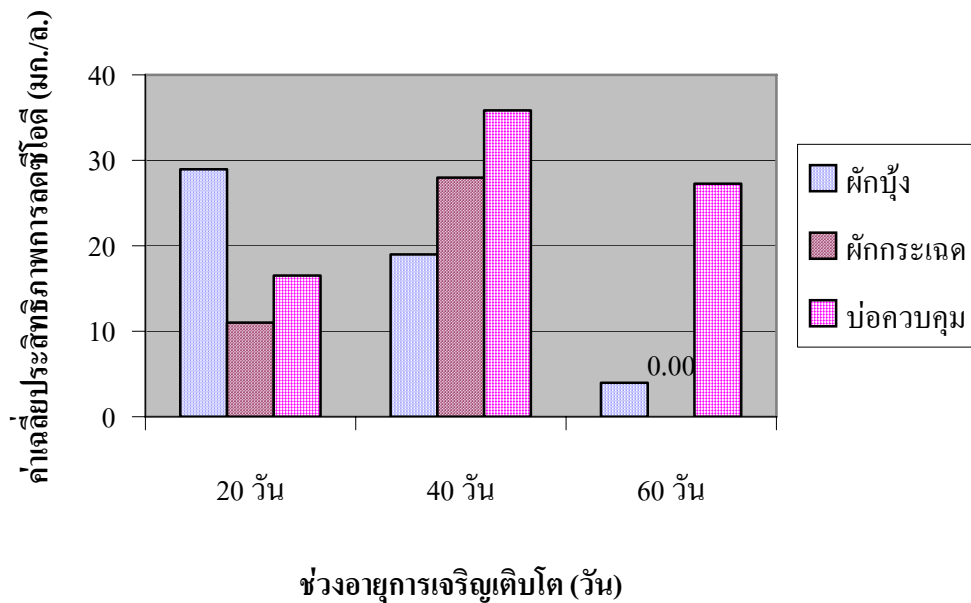
ภาพที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดเชื้อโอดีที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน

จากภาพที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดเชื้อโอดีในน้ำทิ้งที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วันพบว่าบ่อควบคุมมีประสิทธิภาพการลดเชื้อโอดีสูงสุด รองลงมา คือ ผักกระเฉด โดยสามารถลดเชื้อโอดีได้ร้อยละ 32.61 และ 6.59 ตามลำดับ และพบว่าผักบุ้งไม่มีประสิทธิภาพในการลดเชื้อโอดี ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน พบว่าบ่อควบคุมมีประสิทธิภาพในการลดเชื้อโอดีสูงสุด รองลงมาคือ ผักกระเฉด โดยลดเชื้อโอดีได้ร้อยละ 35.11 และ 9.82 ตามลำดับ และพบว่าผักบุ้งไม่มีประสิทธิภาพในการลดเชื้อโอดี ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วัน พบว่าบ่อควบคุมมีประสิทธิภาพในการลดเชื้อโอดีสูงสุด รองลงมา คือ ผักกระเฉด โดยลดเชื้อโอดีได้ร้อยละ 31.41 และ 19.59 ตามลำดับ และพบว่าผักบุ้งไม่มีประสิทธิภาพในการลดเชื้อโอดี



ภาพที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.) ที่ระยะเวลาพักพิงชลศาสตร์ 20 วัน

จากภาพที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำออกที่ระยะเวลาพักพิงชลศาสตร์ 20 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของฟักกระเจด 60 วัน มีค่าสูงกว่าน้ำเข้าระบบ และที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของฟักบึง 20, 40 และ 60 วัน ของฟักกระเจด 20 และ 40 วัน และบ่อควบคุมที่ช่วงการทดลอง 20, 40 และ 60 วัน มีค่าต่ำกว่าน้ำเข้าระบบ และพบว่าที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของฟักบึง และของฟักกระเจด 60 วัน มีค่าเฉลี่ยซีโอดีเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกฎหมาย



ภาพที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีไอดีที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 20 วัน

จากภาพที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีไอดีในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 20 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วันพบว่าฝักบัวมีประสิทธิภาพการลดซีไอดีสูงสุด รองลงมา คือ บ่อควม และฝักกระเจด โดยลดซีไอดีได้ร้อยละ 28.95, 16.5 และ 11.01 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน พบว่าบ่อควมมีประสิทธิภาพการลดซีไอดีสูงสุด รองลงมา คือ ฝักกระเจด และฝักบัว โดยลดซีไอดีได้ร้อยละ 35.86, 27.97 และ 18.98 ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วัน บ่อควมมีประสิทธิภาพในการลดซีไอดีสูงสุด รองลงมา คือ ฝักบัว โดยลดซีไอดีได้ร้อยละ 27.72 และ 3.97 ตามลำดับ และพบว่าฝักกระเจดไม่มีประสิทธิภาพในการลดซีไอดี

3.4 เปรียบเทียบความแตกต่างประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ ซีไอดี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละระยะ
เวลากักพักชลศาสตร์

กลุ่มตัวแปรอิสระ	จำนวน ตัวอย่าง	ต่ำสุด (%)	สูงสุด (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
HRT 10 วัน	9	56.94	87.64	76.75	11.45
HRT 15 วัน	9	52.10	92.16	77.05	12.53
HRT 20 วัน	9	59.38	91.86	81.39	11.79
รวม	27				

จากตารางที่ 4.7 พบว่าประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 56.94, 87.64 และ 76.75 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 52.10, 92.16 และ 77.05 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 59.38, 91.86 และ 81.39 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน
ของระยะเวลากักพักชลศาสตร์ทั้ง 3 กลุ่ม

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม	2	121.61	60.81	0.43	0.66
ภายในกลุ่ม	24	3417.75	142.41		
รวม	26	3539.36			

จากตารางที่ 4.8 พบว่าค่า Sig เท่ากับ 0.66 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่า ประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10, 15 และ 20 วันไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละชนิดพืช

กลุ่มตัวแปรอิสระ	จำนวน ตัวอย่าง	ต่ำสุด (%)	สูงสุด (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
ผักบุ้ง	9	69.60	90.04	83.18	6.10
ผักกระเฉด	9	52.10	91.86	68.75	13.41
บ่อควบคุม	9	70.15	92.16	83.27	8.28
รวม	27				

จากตารางที่ 4.9 พบว่าประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนของผักบุ้ง มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 69.60, 90.04 และ 83.18 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนของผักกระเฉด มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 52.10, 91.86 และ 68.75 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนของบ่อควบคุม มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 70.15, 92.16 และ 83.27 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนของชนิดพืชทั้ง 3 กลุ่ม

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม	2	1256.13	628.07	6.60	0.01
ภายในกลุ่ม	24	2283.23	93.14		
รวม	26	3539.36			

จากตารางที่ 4.10 พบว่าค่า Sig เท่ากับ 0.01 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ามีพืชอย่างน้อย 1 ชนิดที่ทำให้ประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนแตกต่างจากพืชชนิดอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4.11 ผลต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนเปรียบเทียบชนิดพืชรายคู่ด้วยวิธีเซฟเฟ

กลุ่ม	กลุ่มผักบุ้ง (\bar{X} =83.18)	กลุ่มผักกระเฉด (\bar{X} =68.75)	กลุ่มบ่อควบคุม (\bar{X} =83.27)
กลุ่มผักบุ้ง (\bar{X} =83.18)	-		
กลุ่มผักกระเฉด (\bar{X} =68.75)	14.43*	-	
กลุ่มบ่อควบคุม (\bar{X} =83.27)	0.09	14.52*	-

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 4.11 พบว่าประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนของผักบุ้งมีค่าแตกต่างจากผักกระเฉด และผักกระเฉดมีค่าแตกต่างจากบ่อควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างผักบุ้งกับบ่อควบคุม

ตารางที่ 4.12 ประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช

กลุ่มตัวแปรอิสระ	จำนวน ตัวอย่าง	ต่ำสุด (%)	สูงสุด (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)
ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วัน	9	52.10	84.56	71.18	10.48
ช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน	9	58.66	90.29	81.30	10.60
ช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วัน	9	56.94	92.16	82.72	11.45
รวม	27				

จากตารางที่ 4.12 พบว่าประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 52.10, 84.56 และ 71.18 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 58.66, 90.29 และ 81.30 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ช่วงการเจริญเติบโต 60 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และเฉลี่ยเป็นร้อยละ 56.94, 92.16 และ 82.72 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนของช่วงอายุการเจริญเติบโตทั้ง 3 กลุ่ม

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม	2	713.29	356.65	3.03	0.07
ภายในกลุ่ม	24	2826.07	117.75		
รวม	26	3539.36			

จากตารางที่ 4.13 พบว่าค่า Sig เท่ากับ 0.07 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20, 40 และ 60 วันไม่แตกต่างกัน

3.4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส

ตารางที่ 4.14 ประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละระยะเวลากักพักชลศาสตร์

กลุ่มตัวแปรอิสระ	จำนวนตัวอย่าง	ต่ำสุด (%)	สูงสุด (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
HRT 10 วัน	9	0.00	83.68	28.87	33.61
HRT 15 วัน	9	0.00	91.34	34.20	36.97
HRT 20 วัน	9	0.00	92.29	35.78	37.78
รวม	27				

จากตารางที่ 4.14 พบว่าประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน ต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 0.00, 83.68 และ 28.87 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน ต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 0.00, 91.34 และ 34.20 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน ต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 0.00, 92.29 และ 35.78 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระยะเวลาพักพืชศาสตร์ทั้ง 3 กลุ่ม

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม	2	236.23	118.12	0.09	0.91
ภายในกลุ่ม	24	31390.53	1307.94		
รวม	26	31626.76			

จากตารางที่ 4.15 พบว่าค่า Sig เท่ากับ 0.91 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลาพักพืชศาสตร์ 10, 15 และ 20 วันไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละชนิดพืช

กลุ่มตัวแปรอิสระ	จำนวน ตัวอย่าง	ต่ำสุด (%)	สูงสุด (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
ผักบุ้ง	9	0.00	92.29	47.35	39.68
ผักกระเฉด	9	0.00	66.09	18.25	24.88
บ่อคววม	9	0.00	82.51	33.25	35.83
รวม	27				

จากตารางที่ 4.16 พบว่าประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสของผักบุ้ง มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 0.00, 92.29 และ 47.35 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสของผักกระเฉด มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 0.00, 66.09 และ 18.25 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสของบ่อคววม มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 0.00, 82.51 และ 33.25 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสของชนิดพืชทั้ง 3 กลุ่ม

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม	2	3810.97	1905.48	1.64	0.21
ภายในกลุ่ม	24	27815.79	1158.99		
รวม	26	31626.76			

จากตารางที่ 4.17 พบว่าค่า Sig เท่ากับ 0.21 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสของผักบุ้ง ผักกระเฉด และบ่อควมคุมไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.18 ประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัส และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช

กลุ่มตัวแปรอิสระ	จำนวน ตัวอย่าง	ต่ำสุด (%)	สูงสุด (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)
ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วัน	9	0.00	2.17	0.24	0.72
ช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน	9	0.00	69.58	27.68	24.92
ช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วัน	9	26.10	92.29	70.92	21.79
รวม	27				

จากตารางที่ 4.18 พบว่าประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 0.00, 2.17 และ 0.24 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 0.00, 69.58 และ 27.68 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 26.10, 92.29 และ 70.92 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสของช่วงอายุการเจริญเติบโตทั้ง 3 กลุ่ม

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม	2	22856.80	11428.40	31.28	0.00
ภายในกลุ่ม	24	8769.96	365.42		
รวม	26	31626.76			

จากตารางที่ 4.19 พบว่าค่า Sig เท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ามีช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืชอย่างน้อย 1 ช่วงอายุที่มีประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสแตกต่างจากกลุ่มอื่น

ตารางที่ 4.20 ผลต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสเปรียบเทียบช่วงอายุการเจริญเติบโตรายคู่ด้วยวิธีเชฟเฟ

กลุ่ม	ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วัน ($\bar{X} = 0.24$)	ช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน ($\bar{X} = 27.68$)	ช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วัน ($\bar{X} = 70.92$)
กลุ่มช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วัน ($\bar{X} = 0.24$)	-		
กลุ่มช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน ($\bar{X} = 27.68$)	27.44*	-	
กลุ่มช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วัน ($\bar{X} = 70.92$)	70.68*	43.24*	-

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 4.20 พบว่าประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วันแตกต่างจากช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วัน

แตกต่างจากช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วัน และที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วันแตกต่างจากช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3.4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการลดซีโอดี

ตารางที่ 4.21 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละระยะเวลากักพักชลศาสตร์

กลุ่มตัวแปรอิสระ	จำนวน ตัวอย่าง	ต่ำสุด (%)	สูงสุด (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
กลุ่ม HRT 10 วัน	9	0.00	17.63	3.21	5.96
กลุ่ม HRT 15 วัน	9	0.00	35.11	15.01	14.91
กลุ่ม HRT 20 วัน	9	0.00	35.86	18.99	13.11
รวม	27				

จากตารางที่ 4.21 พบว่าประสิทธิภาพในการลดซีโอดีที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 0.00, 17.63 และ 3.21 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 0.00, 35.11 และ 15.01 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการลดซีโอดีที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 0.00, 35.86 และ 18.99 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดซีโอดีของระยะเวลากักพักชลศาสตร์ทั้ง 3 กลุ่ม

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม	2	1213.69	606.84	4.47	0.02
ภายในกลุ่ม	24	3258.01	135.75		
รวม	26	4471.69			

จากตารางที่ 4.22 พบว่าค่า Sig เท่ากับ 0.02 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ว่ามีระยะเวลากักพักชลศาสตร์อย่างน้อย 1 ค่าที่มีประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสแตกต่างจากกลุ่มอื่น

ตารางที่ 4.23 ผลต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีเปรียบเทียบที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์รายคู่ด้วยวิธีเซฟเฟ

กลุ่ม	HRT 10 วัน ($\bar{X} = 3.21$)	HRT 15 วัน ($\bar{X} = 15.01$)	HRT 20 วัน ($\bar{X} = 18.99$)
HRT 10 วัน ($\bar{X} = 3.21$)	-		
HRT 15 วัน ($\bar{X} = 15.01$)	11.80	-	
HRT 20 วัน ($\bar{X} = 18.99$)	15.78*	3.98	-

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 4.23 พบว่าประสิทธิภาพการลดซีโอดีที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 20 วันแตกต่างจากระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4.24 ประสิทธิภาพในการลดซีโอดี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละชนิดพืช

กลุ่มตัวแปรอิสระ	จำนวน ตัวอย่าง	ต่ำสุด (%)	สูงสุด (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
ผักบุ้ง	9	0.00	28.95	6.27	10.49
ผักกระเฉด	9	0.00	27.97	11.04	9.27
บ่อคววม	9	0.00	35.86	19.91	15.97
รวม	27				

จากตารางที่ 4.24 พบว่าประสิทธิภาพในการลดซีโอดีที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 0.00, 28.95 และ 6.27 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 15 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 0.00, 27.97 และ 11.04 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการลดซีโอดีที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 20 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 0.00, 35.86 และ 19.91 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีของชนิดพืชทั้ง 3 กลุ่ม

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม	2	863.16	431.58	2.87	0.08
ภายในกลุ่ม	24	3608.53	150.36		
รวม	26	4471.69			

จากตารางที่ 4.25 พบว่าค่า Sig เท่ากับ 0.08 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าประสิทธิภาพการลดซีโอดีของผักบุ้ง ผักกระเฉด และบ่อควบคุมไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.26 ประสิทธิภาพในการลดซีโอดี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโต

กลุ่มตัวแปรอิสระ	จำนวน ตัวอย่าง	ต่ำสุด (%)	สูงสุด (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)
ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20 วัน	9	0.00	32.61	12.59	12.37
ช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน	9	0.00	35.86	14.94	14.97
ช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วัน	9	0.00	31.41	9.69	12.89
รวม	27				

จากตารางที่ 4.26 พบว่าประสิทธิภาพในการลดซีโอดีที่ระยะเวลาพักพักชด ศาสตร์ 10 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 0.00, 32.61 และ 12.59 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีที่ระยะเวลาพักพักชดศาสตร์ 15 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 0.00, 35.86 และ 31.41 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการลดซีโอดีที่ระยะเวลาพักพักชด ศาสตร์ 20 วัน มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 0.00, 31.41 และ 9.69 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีของช่วงอายุการเจริญเติบโตทั้ง 3 กลุ่ม

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม	2	124.64	62.32	0.34	0.71
ภายในกลุ่ม	24	4347.06	181.13		
รวม	26	4471.69			

จากตารางที่ 4.27 พบว่าค่า Sig เท่ากับ 0.71 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าประสิทธิภาพการลดซีโอดีในช่วงอายุการเจริญเติบโต 20, 40 และ 60 วันไม่แตกต่างกัน

3.4.4 สรุปค่าประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี

ตารางที่ 4.28 สรุปค่าประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี

ค่า P-value (Sig.)	HRT	ชนิดพืช	ช่วงอายุการเจริญเติบโต
ไนโตรเจน	0.66	0.01*	0.07
ฟอสฟอรัส	0.91	0.21	0.00*
ซีโอดี	0.02*	0.08	0.71

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 4.28 พบว่าประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ และช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืชต่างกัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และพบว่าชนิดพืชที่ต่างกันทำให้ค่าประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสพบว่าที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ และชนิดพืช ต่างกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และพบว่าช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืชต่างกันทำให้ค่าประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีพบว่า ชนิดพืช และช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช ต่างกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และที่ระยะเวลาพัก

พัททศาสตร์ต่างกันทำให้ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

บทที่ 5

สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบกึ่งทดลอง เรื่อง “การใช้ฝักนึ่งและฝักกระเจดในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส”

1. สรุปการวิจัย

1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้

- 1.1.1 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฝักนึ่งและของฝักกระเจดในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส
- 1.1.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง การใช้กับไม่ใช้ฝักนึ่ง และการใช้กับไม่ใช้ฝักกระเจด ในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส
- 1.1.3 เพื่อหาระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่เหมาะสมในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของฝักนึ่งและของฝักกระเจด
- 1.1.4 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของฝักนึ่งและของฝักกระเจด

1.2 วิธีดำเนินการวิจัย

1.2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1) น้ำทิ้ง

(1) ประชากร คือ น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส ของโรงงานผลิตรองเท้าทั่วไป

(2) กลุ่มตัวอย่าง คือ น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส ของโรงงานผลิตรองเท้าที่ศึกษา

2) ฝัก

(1) ประชากร คือ ฝักนึ่งและฝักกระเจดทั่วไป

(2) กลุ่มตัวอย่าง คือ ฝักนึ่งและฝักกระเจดในแหล่งน้ำแห่งหนึ่งในจังหวัด

ชลบุรี

1.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย

- 1) พื้นที่สำหรับก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ขนาด 2x8 เมตร
- 2) ชุดบ่อทดลอง 27 ชุด
- 3) พีชน้ำที่ใช้ในการทดลอง คือ ต้นอ่อนผักบุ้งและยอดผักกระเฉด ความยาวเริ่มต้น 40-60 เซนติเมตร
- 4) อุปกรณ์ซึ่ง ดวง วัด กระบอกตวง เครื่องชั่งน้ำหนัก นาฬิกาจับเวลา พีเอชมิเตอร์ กระจกยลิตมัส ดีโอมิเตอร์ เทอร์โมมิเตอร์
- 5) ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1.2.3 การรวบรวมข้อมูล ทำการศึกษาประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉดเป็นพีชน้ำในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือผิวดิน และบ่อควบคุม โดยทำการศึกษาที่ระยะเวลาพักชดสาศตร์ 10, 15 และ 20 วัน ความหนาแน่นของพีชน้ำผักบุ้งและผักกระเฉดที่ 1.98 กิโลกรัมน้ำหนักเปียก/ตารางเมตร และช่วงอายุการเจริญเติบโตของพีชที่ 20, 40 และ 60 วัน หลังจากเริ่มต้นปลูกโดยใช้ต้นอ่อนของผักบุ้ง และยอดของผักกระเฉดที่ความยาวเริ่มต้น 40-60 เซนติเมตร ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำก่อนเข้าระบบและหลังออกจากระบบ โดยใช้เครื่องมือการรวบรวมข้อมูลดังนี้

- 1) เครื่องมือที่ใช้ประเมินผลการทดลอง
 - (1) พีเอชมิเตอร์และกระจกยลิตมัส สำหรับตรวจวัดค่าพีเอชในน้ำ
 - (2) ดีโอมิเตอร์ สำหรับตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ
 - (3) เทอร์โมมิเตอร์ สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ น้ำ และอากาศ
 - (4) เครื่องมือในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ สำหรับวิเคราะห์ค่าซีโอดี ทีเคเอ็นและฟอสฟอรัส
 - (5) ชุดเครื่องมือสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ เพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

2) การปรับเทียบ (Calibration) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล จะต้องได้รับการปรับเทียบ เพื่อความถูกต้องแม่นยำในการตรวจวัด

1.2.4 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

- 1) สถิติเชิงพรรณนา เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าร้อยละในการพรรณนาข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยนำเสนอข้อมูลด้วยตารางและกราฟ
- 2) สถิติเชิงวิเคราะห์ เปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการลดสารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน Analysis of Variance ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.3 ผลการวิจัย ผลจากการศึกษาการใช้ผักนึ่งและผักกระเฉดในการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและซีโอดีในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส สรุปผลได้ดังนี้

1.3.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของผักนึ่งและของผักกระเฉด จากการศึกษาพบว่า ผักนึ่งมีประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนสูงกว่าผักกระเฉด โดยมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนของผักนึ่ง และของผักกระเฉดเป็นร้อยละ 83.18 และ 67.75 ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสพบว่า ผักนึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าผักกระเฉด โดยมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสของผักนึ่ง และของผักกระเฉดเป็นร้อยละ 47.35 และ 18.25 ตามลำดับสำหรับประสิทธิภาพในการลดซีโอดีพบว่า ผักกระเฉดมีประสิทธิภาพสูงกว่าผักนึ่ง โดยมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดซีโอดีของผักกระเฉด และของผักนึ่ง เป็นร้อยละ 11.04 และ 6.27 ตามลำดับ

1.3.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้กับการไม่ใช้ผักนึ่ง และการใช้กับการไม่ใช้ผักกระเฉด เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและซีโอดีในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสระหว่างการใช้พืช และไม่ใช้พืช พบว่า การใช้ผักนึ่งสามารถลดไนโตรเจนได้ใกล้เคียงกับการไม่ใช้ผักนึ่ง และการใช้ผักกระเฉดสามารถลดไนโตรเจนได้น้อยกว่าการไม่ใช้ผักกระเฉด โดยค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนของผักนึ่ง ผักกระเฉด และบ่อควบคุมเป็นร้อยละ 83.18, 68.75 และ 83.27 ตามลำดับ การใช้ผักนึ่งสามารถลดฟอสฟอรัสได้ใกล้เคียงกับการไม่ใช้ผักนึ่ง และการใช้ผักกระเฉดสามารถลดฟอสฟอรัสได้น้อยกว่าการไม่ใช้ผักกระเฉด โดยค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสของผักนึ่ง ผักกระเฉด และบ่อควบคุมเป็นร้อยละ 47.35, 18.25 และ 33.25 ตามลำดับ การใช้ผักนึ่งและการใช้ผักกระเฉดสามารถลดซีโอดีได้น้อยกว่าการไม่ใช้ผักนึ่งและการไม่ใช้ผักกระเฉด โดยค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดี ของผักนึ่งของผักกระเฉด และบ่อควบคุมเป็นร้อยละ 6.27, 11.04 และ 19.91 ตามลำดับ

1.3.3 ระยะเวลาที่กักพักผลศาสตร์ที่เหมาะสมในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของผักนึ่งและผักกระเฉด จากการศึกษาพบว่า ที่ระยะเวลาที่กักพักผลศาสตร์ 20 วัน ให้ประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสสูงสุด โดยค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลาที่กักพักผลศาสตร์ 10, 15 และ 20 วันเป็นร้อยละ 76.75, 77.05 และ 81.39 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลาที่กักพักผลศาสตร์ 10, 15 และ 20 วัน เป็นร้อยละ 28.87, 34.24 และ 35.78 ตามลำดับ และสำหรับการลดซีโอดีพบว่าที่ระยะเวลาที่กักพักผลศาสตร์ 20 วัน สามารถลดซีโอดีได้สูงสุด โดยค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดซีโอดีที่ระยะเวลาที่กักพักผลศาสตร์ 10, 15 และ 20 วัน เป็นร้อยละ 3.21, 15.01 และ 18.99 ตามลำดับ

1.3.4 ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักนึ่ง และของผักกระเฉดที่เหมาะสม จากการศึกษาพบว่า ช่วงอายุการเจริญเติบโตที่ 60 วัน สามารถลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้สูงสุด โดยค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนในช่วงอายุการเจริญเติบโต 20, 40 และ 60 วัน เป็นร้อยละ 71.18, 81.30 และ 82.72 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสในช่วงอายุการเจริญเติบโต 20, 40 และ 60 วัน เป็นร้อยละ 0.24, 27.68 และ 70.92 ตามลำดับ และพบว่า ช่วงอายุการเจริญเติบโต 40 วัน สามารถลดซีโอดีได้สูงสุด โดยค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการซีโอดีในช่วงอายุการเจริญเติบโต 20, 40 และ 60 วัน เป็นร้อยละ 12.59, 14.94 และ 9.69 ตามลำดับ

2. อภิปรายผล

2.1 ประสิทธิภาพของผักนึ่งและของผักกระเฉด ในการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนของผักนึ่ง และของผักกระเฉดเป็นร้อยละ 83.18 และ 67.75 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า มีค่า p-value เท่ากับ 0.01 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 และจากผลต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนเปรียบเทียบชนิดพืชรายคู่พบว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนของผักนึ่งและของผักกระเฉดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสของผักนึ่ง และของผักกระเฉดเป็นร้อยละ 47.35 และ 18.25 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า มีค่า p-value เท่ากับ 0.21 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสของผักนึ่งและของผักกระเฉดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 จากค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของผักนึ่งและของผักกระเฉดข้างต้น จึงยอมรับสมมติฐานข้อที่ 1 ที่กล่าวว่าผักนึ่งและผักกระเฉด สามารถลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสได้

ทั้งนี้อธิบายได้ว่าในระบบบึงประดิษฐ์ไนโตรเจนจะถูกกำจัดจากน้ำเสียได้หลายวิธี เช่น การดูดซับ (Adsorption) การแลกเปลี่ยนประจุ การระเหยง่าย และการนำไปใช้ในพืช และการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ส่วนฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดโดยกระบวนการดูดซับของพืช การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน และการตกตะกอน ซึ่งพืชจะดูดฟอสฟอรัสผ่านรากและส่งผ่านไปยังเนื้อเยื่อนำไปสร้างเซลล์ (สุสา กานตวนิชกูร 2544: 13) ดังนั้นไนโตรเจนและฟอสฟอรัสส่วนหนึ่งจะถูกผักนึ่งและผักกระเฉด นำไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปใช้ในกระบวนการสร้างเซลล์ซึ่งสอดคล้องกับไพบูลย์ ประพุดิธรรม (2543 : 27-11) ที่ทำการศึกษาสรุปของไนโตรเจนและโลหะหนักในดินจากการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหลุมกรองน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีพบว่า

ระบบหญ้ากรองเป็นระบบที่มีความสามารถในการบำบัดไนโตรเจน แคลเซียมและตะกั่ว เพราะทั้งพืชและดินสามารถลดพิษของธาตุพิษและสามารถนำเอาธาตุอาหารพืชไปใช้ในปัจจัยทางบวก เป็นการช่วยลดปริมาณสารแอมโมเนีย-ไนโตรเจน แคลเซียม และตะกั่ว ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียได้ และสอดคล้องกับ จิตติมา วสุสิน (2539: ก) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของพีชน้ำ 3 ชนิด คือ ผักกระเฉด จอก และผักตบชวา ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนและที่พักอาศัยโดยใช้ระยะเวลาเก็บน้ำทิ้ง 15 วัน ทำการปลูกพืชทั้ง 3 ชนิดเต็มผิวน้ำ พบว่าน้ำเสียที่ออกจากสภาพธรรมชาติ ผักกระเฉด จอก และผักตบชวามีประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 15.68 เปอร์เซ็นต์ 61.78 เปอร์เซ็นต์ 56.41 เปอร์เซ็นต์ และ 44.19 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

2.2 ประสิทธิภาพระหว่างการใช้ผักบุงกับไม่ใช้ผักบุง (บ่อควบคุม) และ การใช้ผักกระเฉดกับไม่ใช้ผักกระเฉด (บ่อควบคุม) ในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนของผักบุง ของผักกระเฉด และบ่อควบคุมเป็นร้อยละ 83.18, 68.75 และ 83.27 ตามลำดับ ซึ่งจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนระหว่างการใช้ผักบุงและบ่อควบคุมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 แต่ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนระหว่างการใช้ผักกระเฉดและบ่อควบคุมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดยบ่อควบคุมมีประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนสูงกว่าการใช้ผักกระเฉด และค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสของผักบุง ของผักกระเฉด และบ่อควบคุมเป็นร้อยละ 47.35, 18.25 และ 33.25 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า มีค่า p-value เท่ากับ 0.21 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสระหว่างการใช้ผักบุง การใช้ผักกระเฉด กับบ่อควบคุมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานข้อที่ 2 ที่กล่าวว่าการใช้ผักบุงและการใช้ผักกระเฉดมีประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงกว่าการไม่ใช้ผักบุงและการไม่ใช้ผักกระเฉด

ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าในบ่อควบคุมที่ไม่มีพืชจะก่อให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่าย ซึ่งใช้ในโตรเจนและฟอสฟอรัสไปในการผลิตเป็นมวลชีวโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ 2545: 9) ซึ่งสอดคล้องกับ จันทนา สุขปรีดี และคณะ (2543 : 29-4) ที่ทำการศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายในแปลงทดลองบำบัดน้ำเสียด้วยพืชพบว่าสาหร่ายดูดซับธาตุอาหารในแหล่งน้ำเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตได้ส่วนหนึ่งซึ่งสังเกตจากปริมาณฟอสเฟตที่ลดลงเมื่อน้ำผ่านการบำบัดแล้ว ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ผักบุง ผักกระเฉด และสาหร่ายสามารถลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ อันเนื่องมาจากทั้งพืชและสาหร่ายใช้ในโตรเจนและฟอสฟอรัสไปในการเจริญเติบโตและการสร้างเซลล์ แต่ผลจากการเจริญเติบโตของสาหร่ายอย่างรวดเร็ว ซึ่งเมื่อสาหร่ายจมลงสู่ก้นแหล่งน้ำจะเกิดการย่อยสลายทางธรรมชาติขึ้น สารอินทรีย์จากซากสาหร่ายนี้จะสามารถทำให้ค่าดีไอในน้ำลดลงจนเกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในน้ำได้

(ชงชัย พรรณสวัสดิ์ 2545: 9) ในขณะที่ผักบุ้งและผักกระเฉดจะใช้ในโตรเจนและฟอสฟอรัสซึ่งป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่ายอย่างรวดเร็วจึงทำให้สามารถป้องกันการเกิดภาวะสาหร่ายสะพรั่งหรือเบ่งบาน (Algae bloom) ได้

2.3 ระยะเวลาการพักชลศาสตร์ที่เหมาะสมในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของผักบุ้งและของผักกระเฉด ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10, 15 และ 20 วันเป็นร้อยละ 76.75, 77.05 และ 81.39 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าค่า p-value เท่ากับ 0.66 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนของผักบุ้งและของผักกระเฉดที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่างกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10, 15 และ 20 วัน เป็นร้อยละ 28.87, 34.24 และ 35.78 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า มีค่า p-value เท่ากับ 0.91 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสของผักบุ้งและของผักกระเฉดที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่างกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10, 15 และ 20 วัน สามารถนำไปใช้ลดไนโตรเจนฟอสฟอรัสโดยใช้ผักบุ้งและผักกระเฉดได้เหมือนกัน และปฏิเสธสมมติฐานข้อที่ 3 ที่กล่าวว่า ระยะเวลาการพักชลศาสตร์ต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพของผักบุ้งและของผักกระเฉดในการลดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำที่จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส

ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าการสะสมในพืช (Plant uptake) เป็นกลไกการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สำคัญในระบบพืชลอยน้ำ (Free Floating Macrophytes) ผลของการกำจัดจะประเมินที่ความถี่ของการเก็บเกี่ยวพืช ในพืชไหลพันน้ำที่พบได้สูงแต่ส่วนมากจะไม่มี การเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาที่มีการสะสมสูงสุด หรือไม่มี การเก็บเกี่ยวใดๆเลย (ศุวศา กานตวนิชกูร 2544: 13) ซึ่งผักบุ้งและผักกระเฉดจะใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสส่วนหนึ่งไปในการเจริญเติบโตซึ่งการเจริญเติบโตจะแปรผันตามปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง ถ้ามีปริมาณสูงมากก็จะมีการเจริญเติบโตของพืชอย่างรวดเร็วและถ้ามีปริมาณน้อยก็จะทำให้พืชมีใบเป็นสีเหลืองซึ่งเป็นลักษณะของการขาดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส และถ้าพืชดูดซับสารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปใช้ไม่หมดก็จะทำให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายในน้ำซึ่งสาหร่ายจะนำไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปใช้ในการเจริญเติบโต และการสร้างเซลล์เช่นกัน และจากผลการทดลองจะพบว่าที่ระยะเวลาการพักชลศาสตร์ 20 วัน ใบพืชจะมีสีเหลืองและลำต้นเล็กเนื่องจากมีปริมาณสารอาหารเข้าระบบน้อย ในขณะที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 15 วันจะมีการเจริญเติบโตของพืชอย่างรวดเร็วพืชมีใบสีเขียวเข้ม และที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 10 วันซึ่งมีปริมาณสารอาหารในปริมาณมากที่สุดพืชมีการเจริญเติบโตสูงเช่นกันแต่มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายร่วมด้วยซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่างกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ซึ่งแตกต่างจาก จิตติมา เชื้อกุล (2545: ง) ที่ทำการศึกษากการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ต้นพุทธรักษา ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ และศึกษากการบำบัดน้ำเสียที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 3, 5 และ 7 วัน ซึ่งพบว่าระยะเวลาพักพักชลศาสตร์มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 7 วัน ให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด

2.4 ประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง ของผักกระเฉด และบ่อควบคุม ค่าเฉลี่ย ประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง ของผักกระเฉด และบ่อควบคุม ที่ 20, 40 และ 60 วันเป็นร้อยละ 71.18, 81.30 และ 82.72 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า มีค่า p-value เท่ากับ 0.07 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนของผักบุ้ง ของผักกระเฉด และบ่อควบคุมในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสของผักบุ้ง ผักกระเฉด และบ่อควบคุมที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20, 40 และ 60 วันเป็นร้อยละ 0.24, 27.68 และ 70.92 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า มีค่า p-value เท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัสของผักบุ้ง ของผักกระเฉด และบ่อควบคุมในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 จากค่าประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจึงสรุปได้ว่าที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 60 วัน สามารถลดฟอสฟอรัสได้สูงสุด และช่วงอายุการเจริญเติบโต 20, 40 และ 60 วันสามารถลดปริมาณไนโตรเจนได้ใกล้เคียงกัน และเนื่องจากช่วงอายุการเจริญเติบโตมีผลต่อประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสแต่ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน จึงปฏิเสธสมมติฐานข้อที่ 4 ที่กล่าวว่าในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้งและของผักกระเฉดมีผลต่อประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอส

ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าผักบุ้ง ผักกระเฉด และสาหร่ายในบ่อควบคุมใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในการเจริญเติบโตเพื่อสร้างใบและลำต้น วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์ (2531: 20) พบว่าช่วงอายุการเจริญเติบโตสูงสุดของผักบุ้งและผักกระเฉดจะอยู่ในช่วง 8 สัปดาห์ หรือประมาณ 60 วัน ดังนั้นในช่วงที่พืชกำลังเจริญเติบโตจะมีการดูดซับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปใช้ในการสร้างเซลล์ แต่ความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารของผักบุ้งและผักกระเฉดแตกต่างกัน โดยจะสามารถดูดซับไนโตรเจนได้ดีกว่าฟอสฟอรัส ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าช่วงอายุการเจริญเติบโตที่ 20, 40 และ 60 วันพืชจะดูดซับไนโตรเจนได้ใกล้เคียงกันเนื่องจากยังเป็นช่วงที่พืชมีการเจริญเติบโต และสำหรับการลดปริมาณฟอสฟอรัสของผักบุ้ง ผักกระเฉด และสาหร่ายในบ่อควบคุม ช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืชมีผลต่อการลดฟอสฟอรัส เนื่องจากว่าพืชและสาหร่ายจะสะสมฟอสเฟตซึ่งเป็นรูปหนึ่งของฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์พืช ดังนั้นเมื่อพืชมีการเจริญเติบโตมากขึ้นตามช่วงอายุของการ

เจริญเติบโตก็จะสามารถสะสมฟอสเฟตไว้ในเซลล์พืชได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ลัดดา วงศ์รัตน์ (2524) กล่าวว่าแหล่งน้ำมีปริมาณฟอสเฟตที่ละลายน้ำสูง แพลงก์ตอนพืชจะมีการสะสมสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายน้ำไว้ในเซลล์อย่างรวดเร็ว โดยสะสมไว้ในรูปสารประกอบ อินทรีย์ฟอสเฟตเป็นสาเหตุให้สาหร่ายเกิดการ bloom

2.5 ประสิทธิภาพการลดซีโอดีของผักบุ้งและของผักกระเฉดในน้ำทิ้งจากระบบบำบัด น้ำเสียแบบเอเอส โดยค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีของผักบุ้ง ของผักกระเฉด และบ่อควบคุม เป็นร้อยละ 6.27, 11.04 และ 19.91 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่ามีค่า p-value เท่ากับ 0.08 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าผักบุ้ง ผักกระเฉด และบ่อควบคุมมีประสิทธิภาพในการลดซีโอดีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีที่ระยะเวลาพักพิงชลศาสตร์ 10, 15 และ 20 วัน เป็นร้อยละ 3.21, 15.01 และ 18.99 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า มีค่า p-value เท่ากับ 0.02 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าที่ระยะเวลาพักพิงชลศาสตร์ต่างกันทำให้ประสิทธิภาพการลดซีโอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการลดซีโอดีในช่วงอายุการเจริญเติบโต 20, 40 และ 60 วัน เป็นร้อยละ 12.59, 14.94 และ 9.69 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า มีค่า p-value เท่ากับ 0.71 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าที่ช่วงอายุการเจริญเติบโต 20, 40 และ 60 วัน มีประสิทธิภาพการลดซีโอดีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และพบว่าค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำออกที่ระยะเวลาพักพิงชลศาสตร์ 10 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง 40 และ 60 วัน ของผักกระเฉด 60 วัน และบ่อควบคุมที่ 40 และ 60 วัน ที่ระยะเวลาพักพิงชลศาสตร์ 15 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง 20, 40 และ 60 วัน และที่ระยะเวลาพักพิงชลศาสตร์ 20 วัน ที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุ้ง และของผักกระเฉด 60 วัน มีค่าเกินกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ไม่เกิน 120 มก./ล. และสูงกว่าน้ำเข้าระบบเนื่องจากการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืชและสาหร่ายทำให้เกิดการสะสมของเศษซากพืชเป็นปริมาณมากในบ่อส่งผลให้ค่าซีโอดีมีค่าสูงขึ้นจนเกินมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด ซึ่งสอดคล้องกับ พูลศิริ กิจวรรณ (2543) ที่ทำการศึกษา ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี และซีโอดีในน้ำเสียชุมชน โดยวิธีหมุนเวียนน้ำเสียพบว่าการบำบัดค่าซีโอดีของน้ำเสียและประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ที่ระยะทางการบำบัด 20, 40, 60, 80 และ 100 เมตร ของน้ำชั้นใต้ดิน พบว่าทุกๆ รอบการทดลองการบำบัดซีโอดีน้ำเสียโดยผ่านดินเปล่า และพืชชนิดต่างๆ มีแนวโน้มเดียวกัน คือ น้ำเสียเมื่อผ่านการบำบัดตามระยะทางต่างๆ แล้วจะให้ค่าซีโอดีที่สูงขึ้นกว่าก่อนการบำบัด จึงสรุปได้ว่าระบบหมุนเวียนน้ำเสียไม่มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีได้ และ สิทธิชัย ดันธนะสฤทธ์ (2543 : 32-6) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของหญ้าเลี้ยงสัตว์และพืชน้ำ โดยการเปรียบเทียบระหว่างพืชน้ำ คือ กกกลมกับพืชตระกูลหญ้า ได้แก่ หญ้าอาหารสัตว์และหญ้าแฝก จากประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีพบว่ามีการผันแปรของ

ประสิทธิภาพตามอายุพืชตลอดระยะเวลาการทดลองจะพบว่าหญ้าแฝกอิน โคนีเซียจะมีการผันแปรมากที่สุดและมีค่าติดลบด้วย นั่นแสดงให้เห็นว่าในบางช่วงอายุพืชจะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์จากซากพืชเองด้วยมิใช่ปัจจัยจากน้ำเสีย

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ จากผลการวิจัยการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสโดยใช้ผักบุง และผักกระเฉด เป็นพืชลอยน้ำในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือผิวดิน มีทั้งข้อดีและข้อเสียในการนำไปใช้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดประโยชน์ในการลดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส สูงสุด โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณลักษณะของน้ำทิ้งอื่นๆ โดยเฉพาะค่าบีโอดีและซีโอดี ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่จะต้องควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นค่าการออกแบบระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้พืชน้ำผักบุงและผักกระเฉดที่แนะนำมีดังนี้

3.1.1 ผักบุง ค่าการออกแบบที่แนะนำ คือ ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 20 วัน ช่วงการเจริญเติบโตที่เหมาะสม คือ 20-40 วัน ดังนั้นเมื่อนำผักบุงไปใช้ในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ควรจะออกแบบค่าระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ที่ 20 วัน และควบคุมช่วงการเจริญเติบโตของผักบุงที่ 20-40 วัน เนื่องจากที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10 และ 15 วัน และที่ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักบุงมากกว่า 40 วัน ผักบุงจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการสะสมของเศษซากพืชเป็นปริมาณมากในบ่อส่งผลให้ค่าซีโอดีมีค่าสูงขึ้นจนเกินมาตรฐานที่กฎหมายกำหนดได้

3.1.2 ผักกระเฉด ค่าการออกแบบที่แนะนำ คือ ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10, 15 และ 20 วัน และช่วงอายุการเจริญเติบโต 20-40 วัน ดังนั้นเมื่อนำผักกระเฉดไปใช้ในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส สามารถออกแบบระบบบำบัดที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10, 15 และ 20 วัน และควบคุมช่วงอายุการเจริญเติบโตของผักกระเฉดที่ 20-40 วัน

3.1.3 บ่อควบคุมหรือบ่อไม่มีพืช ค่าการออกแบบที่แนะนำ คือ ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 15 และ 20 วัน ดังนั้นถ้าจะออกแบบระบบโดยไม่ใช้พืชบำบัดในระบบบึงประดิษฐ์ ควรออกแบบระบบบำบัดที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 15 และ 20 วัน เนื่องจากว่าที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 10 วัน ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายอย่างรวดเร็วและส่งผลให้ค่าซีโอดีสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานได้

3.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

3.2.1 *ควรศึกษาประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยไม่ใช้พีชน้ำ* เพิ่มเติม เนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้พบว่าประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยไม่ใช้พีชน้ำที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 15 วัน และ 20 วันมีประสิทธิภาพสูง

3.2.2 *พีชน้ำที่แนะนำในการวิจัย* ทำการศึกษาประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปของ Soluble forms ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยใช้ผักนึ่งกับสาหร่ายสาหร่ายกับจอก และแทนกับผักนึ่ง

3.2.3 *ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่กำหนดในการทดลอง* อาจกำหนดให้ต่างกันมากขึ้น เป็น 5, 15 และ 25 วัน เพื่อให้เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนว่าระยะเวลากักพักชลศาสตร์ มีผลต่อประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยใช้ผักนึ่งและผักกระเฉดหรือไม่

3.2.4 *ปรับเปลี่ยนช่วงอายุการเจริญเติบโตของพีช* เป็น 25, 50 และ 75 วัน เพื่อให้เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนว่าช่วงอายุการเจริญเติบโตของพีชมีผลต่อประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนหรือไม่

3.2.5 *ควรตรวจหาปริมาณไนโตรเจนที่ลดลง* ในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจน เนื่องจากพีชสามารถดูดซับ (Adsorp) ไปใช้ได้ดี เพราะเป็นรูปของ Soluble forms ซึ่งจะทำให้ได้ผลการวิจัยลดไนโตรเจนชัดเจนกว่าการตรวจค่าที่เคเอ็น

3.2.6 *ควรตรวจหาปริมาณฟอสฟอรัสที่ลดลง* ในรูปของ Reactive (Soluble) ฟอสเฟตซึ่งจะทำให้ผลการวิจัยการลดฟอสฟอรัสโดยใช้พีชน้ำชัดเจนกว่าการตรวจค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ตารางที่ 1 ลักษณะของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสของโรงงานผลิตรองเท้าที่ป้อนเข้าระบบบึงประดิษฐ์

คุณลักษณะน้ำเข้า	วันที่ 1-20			วันที่ 21-40			วันที่ 41-60			
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย
ซีโอดี (มก./ล)	109.12	70.72	89.92	130.94	103.17	117.06	137.2	127.49	112.87	125.85
ทีเคเอ็น (มก./ล)	63.10	21.10	42.10	40.00	40.30	40.15	61.10	71.60	38.00	56.90
ฟอสฟอรัส (มก./ล)	1.66	1.10	1.38	2.39	0.80	1.60	3.92	4.31	10.70	6.31

ตารางที่ 2 ปริมาณที่เคเอ็นของน้ำออกจากระบบบ่อดูดองบึงประดิษฐ์ที่ปลูกผักบุ้ง

HRT	ผักบุ้ง ช่วงอายุ 20 วัน				ผักบุ้ง ช่วงอายุ 40 วัน				ผักบุ้งช่วงอายุ 60 วัน			
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย
HRT 10	7.6	4.6	7.3	6.50	4.7	9.3	7.1	7.03	11.7	5.2	4.2	7.03
HRT 15	9.6	7.3	9.2	8.70	6	4	7	5.67	18.1	7.8	5.6	10.50
HRT 20	10.1	14.4	13.9	12.80	4.3	4	3.7	4.00	4.5	9.6	7.2	7.10

ตารางที่ 3 ปริมาณที่เคเอ็นของน้ำออกจากระบบบ่อดูดองบึงประดิษฐ์ที่ปลูกผักกระเฉด

HRT	ผักกระเฉด ช่วงอายุ 20 วัน				ผักกระเฉด ช่วงอายุ 40 วัน				ผักกระเฉดช่วงอายุ 60 วัน			
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย
HRT 10	9.7	16.2	8.4	11.43	13.6	18.7	17.5	16.60	26.6	24.1	22.8	24.50
HRT 15	18.9	23.0	18.6	20.17	12.5	13.5	11.2	12.40	28.8	13.4	4	15.40
HRT 20	20.3	16.8	14.2	17.10	7.2	6.2	4.7	6.03	5.2	4.7	4	12.52

ตารางที่ 4 ปริมาณที่เคเอ็นของน้ำออกจากระบบบ่อดูดองบึงประดิษฐ์ที่เป็นบ่อดูดอง

HRT	บ่อดูดอง ช่วงอายุ 20 วัน				บ่อดูดองช่วงอายุ 40 วัน				บ่อดูดองช่วงอายุ 60 วัน			
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย
HRT 10	7.3	7	8.1	7.47	6.2	7.1	8	7.10	10.9	8.6	14.2	11.23
HRT 15	12.3	13.9	11.5	12.57	4	4	3.7	3.90	6	5.4	4.2	5.20
HRT 20	14.4	12.6	10.4	12.47	5.8	4.1	4.6	4.83	7.6	4.2	6.4	6.07

ตารางที่ 5 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำออกจากระบบบ่อดูดซับบึงประดิษฐ์ที่ปลูกผักนึ่ง

HRT	ผักนึ่ง ช่วงอายุ 20 วัน				ผักนึ่ง ช่วงอายุ 40 วัน				ผักนึ่งช่วงอายุ 60 วัน			
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย
HRT 10	3.11	1.99	1.31	2.14	1.24	1.41	0.62	1.09	1.46	0.52	1.55	1.18
HRT 15	1.41	1.2	2.8	1.81	0.71	0.82	0.62	0.72	0.6	0.47	0.45	0.51
HRT 20	1.08	1.61	1.36	1.35	0.41	0.56	0.49	0.49	0.26	0.62	0.31	0.40

ตารางที่ 6 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำออกจากระบบบ่อดูดซับบึงประดิษฐ์ที่ปลูกผัก
กระเฉด

HRT	ผักกระเฉด ช่วงอายุ 20 วัน				ผักกระเฉด ช่วงอายุ 40 วัน				ผักกระเฉดช่วงอายุ 60 วัน			
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย
HRT 10	2.86	2.38	2.38	2.54	2.27	1.59	2.26	2.04	3.73	5.52	4.74	4.66
HRT 15	2.38	3.88	2.24	2.33	3.05	2.05	0.98	2.03	4.8	2.83	2.15	3.26
HRT 20	2.09	1.84	1.61	1.85	1.87	1.19	0.6	1.22	2.62	1.94	1.86	2.14

ตารางที่ 7 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำออกจากระบบบ่อดูดซับบึงประดิษฐ์ที่เป็นบ่อควบคุม

HRT	บ่อควบคุม ช่วงอายุ 20 วัน				บ่อควบคุม ช่วงอายุ 40 วัน				บ่อควบคุมช่วงอายุ 60 วัน			
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย
HRT 10	2.37	1.65	1.19	1.74	1.25	0.73	0.98	0.99	1.14	1.01	1.67	1.27
HRT 15	2.8	1.55	1.34	1.90	1.56	0.72	1.06	1.11	1.27	0.94	1.1	1.10
HRT 20	2.09	1.84	1.61	1.85	2.24	2.09	2.38	2.24	1.44	1.78	2.81	2.01

ตารางที่ 8 ปริมาณซีโอดีของน้ำออกจากระบบบ่อดูดซับบึงประดิษฐ์ที่ปลูกผักนึ่ง

HRT	ผักนึ่ง ช่วงอายุ 20 วัน				ผักนึ่ง ช่วงอายุ 40 วัน				ผักนึ่งช่วงอายุ 60 วัน			
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย
HRT 10	85.66	91.63	99.6	92.30	134.91	123.01	132.93	130.28	103.58	121.51	135.46	120.18
HRT 15	125.48	104.73	173.89	134.7	168.64	130.94	134.94	144.84	131.47	143.42	127.49	134.15
HRT 20	59.28	73.11	59.28	63.89	98.8	86.94	98.8	94.85	127.49	127.49	107.57	120.85

ตารางที่ 9 ปริมาณซีไอดีของน้ำออกจากระบบบำบัดคลองบึงประดิษฐ์ที่ปลูกผักกระเฉด

HRT	ผักกระเฉด ช่วงอายุ 20 วัน				ผักกระเฉด ช่วงอายุ 40 วัน				ผักกระเฉดช่วงอายุ 60 วัน			
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย
HRT 10	55.55	79.36	87.3	74.07	118.71	101.79	107.03	109.18	159.57	105.09	128.44	131.03
HRT 15	97.22	67.46	87.3	83.99	114.81	116.7	85.62	105.71	99.25	79.79	124.54	101.19
HRT 20	69.44	99.2	71.42	80.02	75.89	95.35	81.73	84.32	136.22	112.87	130.38	126.49

ตารางที่ 10 ปริมาณซีไอดีของน้ำออกจากระบบบำบัดคลองบึงประดิษฐ์ที่เป็นบ่อควบคุม

HRT	บ่อควบคุม ช่วงอายุ 20 วัน				บ่อควบคุม ช่วงอายุ 40 วัน				บ่อควบคุมช่วงอายุ 60 วัน			
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย
HRT 10	127.49	113.54	114.61	118.55	111.10	138.88	146.82	132.27	167.33	155.38	199.20	173.97
HRT 15	63.23	59.28	59.28	60.60	65.47	95.23	67.18	75.96	103.58	75.7	79.68	86.32
HRT 20	86.94	71.14	67.18	75.09	86.94	71.14	67.18	75.09	97.61	75.7	99.6	90.97

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี

1. การคำนวณประสิทธิภาพการลดไนโตรเจน

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร ร้อยละของการลดสารไนโตรเจน} &= \frac{(\text{ค่า TKN น้ำเข้า} - \text{ค่า TKN น้ำออก}) \times 100}{\text{ค่า TKN น้ำเข้า}} \\
 &= \frac{(42.10 - 6.50) \times 100}{42.10} \\
 &= 84.56
 \end{aligned}$$

2. การคำนวณประสิทธิภาพการลดฟอสฟอรัส

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร ร้อยละของการลดสารฟอสฟอรัส} &= \frac{(\text{ค่า TP น้ำเข้า} - \text{ค่า TP น้ำออก}) \times 100}{\text{ค่า TP น้ำเข้า}} \\
 &= \frac{(6.31 - 1.18) \times 100}{6.31} \\
 &= 83.68
 \end{aligned}$$

3. การคำนวณประสิทธิภาพการลดซีโอดี

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร ร้อยละของการลดซีโอดี} &= \frac{(\text{ค่า COD น้ำเข้า} - \text{ค่า COD น้ำออก}) \times 100}{\text{ค่า COD น้ำเข้า}} \\
 &= \frac{(125.85 - 120.18) \times 100}{125.85} \\
 &= 4.50
 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ค

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1. วิธีวิเคราะห์ซีไออดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

การวิเคราะห์ซีไออดีด้วยวิธี Dichromate Reflux มี 2 วิธีคือ วิธีกลั่นแบบเปิด (Open Reflux Method) และวิธีกลั่นแบบปิด (Closed Reflux Method)

1.1 การวิเคราะห์ค่าซีไออดีโดยวิธีกลั่นแบบเปิด (Open Reflux Method)

1.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) *Reflux Apparatus* ประกอบด้วยขวดขนาด 250 มล. หรือ 500 มล. ซึ่งมีคอทำด้วย Ground Glass 24/40 และเครื่องควบแน่น (Condenser) ซึ่งมี 300-mm Jacket มีข้อต่อทำด้วย Ground Glass 24/40 เช่นกัน

2) *Hot Plate* ให้กำลังไฟอย่างน้อย 1.4 วัตต์/ตร.ซม.

3) บิวเรต ขนาด 50 มล.

1.1.2 น้ำยาเคมี

1) สารละลายมาตรฐาน *Potassium Dichromate 0.04167 โมลาร์* หรือ 0.25 นอร์มัล ละลาย 12.259 กรัม $K_2Cr_2O_7$ (อบให้แห้งที่ $103^\circ C$ เป็นเวลา 2 ชม.) ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตร 1 ลิตร (ถ้าจำเป็นให้เติม 120 มก. กรดซัลฟามิกเพื่อกำจัดการขัดขวางการหาเนื่องจาก NO_2^-)

2) กรด *Sulfuric Reagent* ทำโดยเติม 5.5 กรัม Ag_2SO_4 ลงในขวดที่มี conc. H_2SO_4 1 กก. ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ละลาย

3) สารละลายมาตรฐาน *Ferrous Ammonium Sulfate 0.10 นอร์มัล* ละลาย 39 กรัม $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ในน้ำกลั่น เติม 20 มล. กรด H_2SO_4 conc. ลงไป ทำให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มล.

1.1.3 การ Standardize

ดูดสารละลายมาตรฐาน *Potassium Dichromate* มา 10 มล. เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มล. เติม 30 มล. กรด H_2SO_4 conc. ทิ้งไว้ให้เย็น ไทเทรตด้วยสารละลาย *Ferrous Ammonium Sulfate* ใช้ *Ferroine* เป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด

$$\text{นอร์มัลลิตี (Normality)} = \frac{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ มล.} \times 0.25}{\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \text{ มล.}}$$

1) สารละลาย *Ferroine Indicator* ละลาย 1.485 กรัม 1-10 Phenanthroline Monohydrate และ 695 มก. $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ในน้ำกลั่น เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มล.

2) *Mercury Sulfate*

3) กรด *Sulfamic* ใช้ในกรณีที่จะกำจัดไนไตรต์เท่านั้น

4) สารละลายมาตรฐาน *Potassium Hydrogen Phthalate (KHP)* ละลาย KHP อบที่อุณหภูมิ 110°C หนัก 425 มก. ในน้ำกลั่น 1,000 มล.

1.1.4 วิธีการวิเคราะห์

1) ตัวอย่างที่ค่าซีโอดีมากกว่า 50 มก./ล. ดูดตัวอย่าง 20 มล. หรือน้อยกว่าเจือจางจนได้ปริมาตร 20 มล. ใส่ลงขวดสำหรับรีฟลักซ์ ขนาด 250 มล. เติม HgSO_4 0.4 กรัม (อาจใช้ Reagent Spoon วัดเป็นปริมาตรเพื่อความสะดวก) พร้อมด้วย Glass Beads หรือ Boiling Chips ให้เติมกรดอย่างช้าๆ พร้อมกับเขย่าเพื่อละลาย HgSO_4 ควรทำให้เย็นในขณะที่เขย่าเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญหายของสารที่เป็นไอในตัวอย่าง (อาจใช้แช่ในอ่างน้ำ) เติม 10 มล. 0.25 นอร์มัล สารละลาย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ และผสมอีกครั้ง สวมขวดรีฟลักซ์เข้ากับเครื่องควบแน่น เปิดน้ำเย็นให้ไหลผ่าน เติมน้ำยากรดกำมะถันที่ยังเหลือ (30 มล.) ผ่านปลายด้านที่เปิดของเครื่องควบแน่นให้ทำการแกว่ง และผสมอีกในขณะที่ทำการเติมกรดให้ผสมของผสมในขวดรีฟลักซ์ให้เข้ากันก่อนที่จะให้ความร้อน เพราะถ้าไม่ทำเช่นนี้ความร้อนให้ที่ก้นขวดจะทำให้ของผสมในขวดพุ่งออกจากเครื่องควบแน่น

อีกวิธีหนึ่งให้ใช้ตัวอย่างในปริมาตร 10-20 มล. และปรับปริมาตร น้ำหนัก และนอร์มัลลิตีของน้ำยาเคมี โดยดูจากตารางที่ 11 เพื่อหาอัตราส่วนของตัวอย่างน้ำกับน้ำยาเคมีที่จะเติม ให้รักษาอัตราส่วนเหล่านี้ และทำตามวิธีการหาข้างบนตามด้วยวิธีการหาที่สมบูรณ์ข้างล่างนี้

ใช้ HgSO_4 0.4 กรัม กับตัวอย่าง 20 มล. สำหรับตัวอย่างในปริมาตรที่น้อยกว่านี้ให้ลดปริมาณ HgSO_4 ลงตามความเข้มข้นของคลอไรด์ รักษาอัตราส่วนของ $\text{HgSO}_4 : \text{Cl}$ ให้เท่ากับ 10 : 1 ตะกอนที่เกิดขึ้นจะไม่มีผลต่อการวิเคราะห์แต่ประการใด ตามกฎทั่วไปจะไม่สามารถหาค่าซีโอดีอย่างแน่นอนในตัวอย่างที่มีคลอไรด์เกิน 2,000 มก./ล.

ตารางที่ 11 น้ำหนักและความเข้มข้นของน้ำยาเคมีที่ใช้กับขนาดของตัวอย่างต่างๆ

Sample size (ml)	0.25 N Standard dichromate (ml)	Conc.H ₂ SO ₄ With Ag ₂ SO ₄ (ml)	HgSO ₄ g.	Normality of Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂	Final volume before titration (ml)
10	5	15	0.2	0.05	70
20	10	30	0.4	0.10	140
30	15	45	0.6	0.15	210
40	20	60	0.8	0.20	280
50	25	75	1.0	0.25	350

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2545) ตำรานำบัคคัลลัสน้ำ กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

รีฟลักซ์ของผสมนี้เป็นเวลา 2 ชม. หรือน้อยกว่า (สำหรับน้ำเสียบางชนิดที่พบว่าให้ค่าซีโอดีมากที่สุด) ใช้บีกเกอร์เล็กๆ ปิดปลายด้านเปิดของเครื่องควบแน่น เพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมหลุดเข้าไป ปล่อยให้ทิ้งไว้ให้เย็น ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเครื่องควบแน่นให้เงาของผสมในขวดน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรประมาณ 150 มล. ปล่อยให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง ไทเทรต Dichromate ที่เกินพอด้วยสารละลายมาตรฐาน Ferrous Ammonium Sulfate ใช้ Ferroine 2-3 หยด (0.10-0.15 มล.) เป็นอินดิเคเตอร์ถึงแม้ว่าปริมาตร Ferroine ที่ใช้จะไม่ใช่มูลค่าที่สำคัญยิ่งในการหา แต่ควรใช้ปริมาตรที่คงที่ทุกครั้งให้ถือเอาจุดที่มีการเปลี่ยนสีจากฟ้าอมเขียว (Blue-green) ไปเป็นน้ำตาลแดง (Feddish-brown) ทันทีเป็นจุดยุติ ถึงแม้ว่าเมื่อทิ้งไว้ 2-3 นาที สีฟ้าอมเขียวจะกลับคืนมาก็ตาม ทำ Blank โดยใช้ น้ำกลั่นในปริมาตรที่เท่ากับตัวอย่าง ทำการรีฟลักซ์เหมือนตัวอย่างทุกประการ รวมทั้งน้ำยาเคมีที่ใช้ก็เท่ากันด้วย

2) ตัวอย่างที่มีค่าซีโอดีต่ำ ทำตามวิธีในข้อ 1) มีข้อยกเว้น 2 ข้อ คือ

(1) ใช้ 0.025 นอร์มัลสารละลายมาตรฐาน K₂Cr₂O₇

(2) ทำ Back Titration ด้วย 0.10 นอร์มัล Ferrous Ammonium Sulfate

ควรใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ เพราะสารอินทรีย์จำนวนเล็กน้อยที่ติดอยู่กับเครื่องแก้วหรือจากบรรยากาศจะทำให้เกิดความผิดพลาดได้ ถ้าต้องการจะให้ผลที่ดียิ่งขึ้น ให้ลดปริมาตรของตัวอย่างลงให้เหลือ 20 มล. (ปริมาตรทั้งหมดตอนสุดท้าย 60 มล.) โดยต้มในขวด

รีฟลักซ์บน Hot Plate ภายหลังจากเติมน้ำยาเคมีเรียบร้อยแล้ว วิธีการนี้เป็นการลดปริมาตรโดยไม่มี การสูญเสียของสารที่เป็นไอได้ง่ายเมื่อทำการย่อยสลาย แต่ถึงอย่างไรก็ยังคงมีการสูญเสียพวกกรด ระเหยไปเล็กน้อย ให้ทำ Blank ด้วยวิธีการเดียวกัน จำไว้ว่าเมื่อปริมาตรตัวอย่างเพิ่มขึ้น ความเข้มข้น ของคลอไรด์ก็เพิ่มขึ้นด้วย จึงต้องเติม HgSO_4

3) **การหาสารละลายมาตรฐาน** ตรวจสอบคุณภาพและคุณภาพของน้ำยาเคมี ด้วยสารละลายมาตรฐาน KHP ดู Precision และ Accuracy จากค่าซีโอดี ที่ทำได้โดยเปรียบเทียบกับ ค่าจากทฤษฎี เพราะ KHP มี Theoretical COD 1.176 ก./ก. ดังนั้นสำหรับสารละลายที่มีค่าซีโอดี 500 มก./ล. KHP 425 มก. ในน้ำกลั่น เจือจางจนได้ปริมาตร 1,000 มล. สำหรับ KHP คาดว่าให้ร้อยละ 98-100 Recovery ของ Theoretical COD ข้อดีของ KHP คือ สามารถทำการ Standardize ทางเคมีได้ และจะอยู่ตัว

การคำนวณ

$$\text{มก./ล. COD} = \frac{(a-b)N \times 8,000}{\text{มล. ตัวอย่าง}}$$

เมื่อ COD = ค่า Chemical Oxygen Demand จาก Dichromate

a = มล.ของ $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ ที่ใช้ในการไทเทรต Blank

b = มล.ของ $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง

N = นอร์มัลลิตีของ $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ ที่ใช้

1.2 การวิเคราะห์ค่าซีโอดีโดยวิธีกลั่นแบบปิด (Closed Reflux Method)

1.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) ภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย (Digestion Vessel) ควรใช้หลอดทดลองที่เป็นบอโรซิลิเกตซึ่งมีขนาด 16 x 100 มม. หรือ 20 x 150 มม. หรือ 25 x 150 มม. พร้อมทั้งฝาจุกที่บุ ด้วย TFE หรือใช้บอโรซิลิเกตแอมพูล (Borosilicate Ampules) ขนาดความจุ 10 มล. เส้นผ่าน ศูนย์กลาง 19-20 มม.

2) ฮีตติงบล็อก (Heating Block) เป็นอะลูมิเนียมหล่อ (Cast Aluminum) มี ช่องหลายๆช่องซึ่งมีความลึก 45-50 มม. เป็นช่องที่จะให้หลอดหรือแอมพูลตั้งอยู่ได้พอดี

3) เครื่องให้ความร้อนหรือเตาอบ (Block Heater or Oven) ให้ความร้อนอยู่ใน ช่วงระหว่าง $150 \pm 2^\circ \text{C}$

1.2.2 น้ำยาเคมี

1) สารละลายมาตรฐาน Potassium Dichromate หรือ Digestion Reagent

ความเข้มข้น 0.0167 โมลาร์ หรือ 0.1 นอร์มัล ซึ่งสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standard) Potassium Dichromate 4.913 กรัม ซึ่งถูกทำให้แห้งในเตาอบอุณหภูมิ 103 ° ซ เป็นเวลา 2 ชม. ทิ้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้น ใส่น้ำกลั่นประมาณ 500 มล. ค่อยๆ เติมกรด Sulfuric conc. 167 มล. เติม Mercury Sulfate 33.3 กรัม คนให้ละลายตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 1,000 มล. ด้วยน้ำกลั่น

2) กรดกำมะถัน เช่นเดียวกับวิธี Open Reflux

3) Ferroine Indicator

4) สารละลายมาตรฐาน Ferrous Ammonium Sulfate (FAS) ความเข้มข้น 0.1

โมลาร์ ละลาย Ferrous Ammonium Sulfate Hexahydrate $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}]$ 39.2 กรัมในน้ำกลั่นประมาณ 500 มล. เติมกรด Sulfuric conc. 20 มล. คนให้ละลาย ทิ้งให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1,000 มล. สารละลายนี้ต้องเทียบมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐาน Potassium Dichromate ที่ใช้ในการย่อยสลายทุกครั้งที่น่ามาใช้ เติมสารเคมีดังตารางที่ 12 ในภาชนะย่อยสลาย แต่ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำ ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วไทเทรตด้วย Ferrous Ammonium Sulfate (FAS) ใช้ Ferroine เป็นอินดิเคเตอร์ 0.05-0.1 มล. ทำประมาณ 1-2 หลอดไทเทรตจนถึงจุดยุติ สีจะเปลี่ยนจากฟ้าอมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

$$\text{ความเข้มข้นของ FAS (N)} = \frac{\text{ปริมาตรของ } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ (มล.)} \times 0.1}{\text{ปริมาตรของ FAS (มล.)}}$$

ตารางที่ 12 ปริมาณตัวอย่างและน้ำยาเคมีที่ใช้สำหรับขนาดต่างๆ ของภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย

ขนาดของภาชนะ ย่อยสลาย	ตัวอย่างน้ำ (มล.)	สารละลายในการ ย่อยสลาย (มล.)	กรดกำมะถัน เข้มข้น (มล.)	ปริมาตรทั้งหมด (มล.)
หลอดย่อยสลาย				
16 x 100 มม.	2.5	1.5	3.5	7.5
20 x 150 มม.	5.0	3.0	7.0	15.0
25 x 150 มม.	10.0	6.0	14.0	30.0
แอมพูลมาตรฐาน				
10 มล.	2.5	1.5	3.5	7.5

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2545) คำรณบัณฑิตมลพิษน้ำ กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

5) กรดซัลฟามิกเพื่อกำจัดไนไตรต์ ใส่กรด Sulfamic 10 มก. เพื่อกำจัดไนไตรต์ 1 มก. โดยใส่ภาชนะย่อยสลายก่อนที่จะนำไปย่อยสลาย

6) สารละลายมาตรฐาน Potassium Hydrogen Phthalate เช่นเดียวกับกลิ่นแบบเปิด

1.2.3 วิธีการวิเคราะห์

1) ล้างหลอดย่อยสลาย และฟาจุกด้วย H_2SO_4 20% ก่อนนำไปใช้เพื่อป้องกันการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์

2) เลือกใช้ปริมาตรของตัวอย่างน้ำ และสารเคมีที่เหมาะสม

3) นำตัวอย่างน้ำมาใส่หลอดย่อยสลาย เติมสารละลายที่ใช้ในการย่อยสลาย ซึ่งได้แก่ สารละลายมาตรฐาน Potassium Dichromate

4) ค่อยๆ เทกรด Sulfuric สำหรับซีโอดีให้ไหลลงกันหลอดแก้ว เพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ใต้ชั้นตัวอย่างน้ำ และน้ำย่อยสลาย

5) ปิดจุกหลอดแก้วให้แน่น หรือถ้าใช้แอมพูลก็ให้เชื่อมให้สนิท แล้วคว่ำหลอดแก้วไปมาหลายๆ ครั้งเพื่อผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง

6) นำหลอดทดลองเหล่านี้ไปใส่ในในเครื่องย่อยสลาย (Block Digester) หรือเตาอบซึ่งได้ทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 150 ° ซ ก่อน ใช้เวลารีฟลักซ์ 2 ชม. แล้วทิ้งให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง โดยนำหลอดทดลองมาวางไว้ที่วางหลอดทดลอง (Test Tube Rack)

7) เปิดฝาจุก แล้วเทสารละลายลงใน Flask ขนาด 150 มล. ล้างหลอดด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง เทลงใน Flask เติม Ferroine Indicator ประมาณ 1-2 หยด เขย่าอย่างรวดเร็ว ขณะที่ไทเทรตด้วย FAS 0.1 นอร์มัล จุดยุติจะเปลี่ยนอย่างรวดเร็วจากฟ้ามเขียวเป็นน้ำตาลแดง ถึงแม้บางครั้งสีฟ้ามเขียวอาจจะกลับมาปรากฏอีกในหลายนาทีถัดมา และในลักษณะเดียวกันให้ย่อยสลาย และไทเทรต Blank ที่มีน้ำยาเคมีกับน้ำกลั่นในปริมาตรเท่ากับตัวอย่างน้ำด้วย

การคำนวณ

$$\text{ซีไอดี, มก./ล.} = \frac{(A-B) \times M \times 8,000}{\text{มล. ตัวอย่างน้ำ}}$$

โดย A = มล.ของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรต Blank

B = มล.ของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง

M = โมลาลิตีของ FAS

2. ไนโตรเจน (Nitrogen) ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)

ไนโตรเจนที่พบในน้ำตามแม่น้ำ ลำคลอง บึง น้ำเสีย น้ำทิ้งที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ มีอยู่หลายรูปแบบคือ ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน หรือไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ที่เรียกว่า ไนโตรเจนอินทรีย์หรือออร์แกนิกไนโตรเจนก็ได้ ทีเคเอ็น หมายถึงผลบวกระหว่างไนโตรเจนอินทรีย์ และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่อยู่ในโปรตีนของพืชหรือสัตว์ หรือที่เกิดจากกระบวนการของสิ่งมีชีวิต เช่น เกิดจากการขับถ่ายของเสีย ยกตัวอย่างเช่น ในปัสสาวะมียูเรีย ซึ่งในยูเรียจะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เป็นต้น (TKN = NH₃-N + Organic N)

แอมโมเนีย-ไนโตรเจน

แอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่พบในน้ำผิวดินจะมีปริมาณไม่มากนัก เมื่อเทียบกับที่พบในน้ำเสียที่มาจากแหล่งชุมชน เนื่องจากน้ำซึ่งนำมาทำน้ำประปาเป็นน้ำผิวดินซึ่งมีแอมโมเนีย-ไนโตรเจนอยู่ ดังนั้นเมื่อนำน้ำนั้นมาเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค แอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่เติมไปนั้นทำให้เกิดเป็นสารคลอรามิน ซึ่งการเกิดสารนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของแอมโมเนีย ดังนั้น

ถ้าจะหาปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจากน้ำซึ่งมีคลอรีนตกค้าง จำเป็นต้องกำจัดคลอรีนออกเสียก่อนจะทำการวิเคราะห์ อาจจะใส่สารที่ไปทำลายคลอรีน (Dechlorinating Agents) ลงไปได้

สำหรับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด จะมีปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน สูงกว่าน้ำตามธรรมชาติ หรือน้ำที่ได้รับการบำบัดแล้ว เนื่องจากน้ำดังกล่าวมีปริมาณของสารอินทรีย์อยู่มาก จึงทำให้มีไนโตรเจนอยู่มากกว่าน้ำธรรมชาติ สำหรับการวิเคราะห์หาแอมโมเนีย-ไนโตรเจนนั้นจะมีสารบางชนิดซึ่งทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดไป สารดังกล่าวนี้เรียกว่า สารแทรกสอด (Interference)

การหาแอมโมเนีย-ไนโตรเจนอาจมีสารแทรกสอดหลายอย่างอยู่ในน้ำ เช่น ถ้ามี Ca^{2+} มากกว่า 250 มก./ล. ค่าของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ได้จะน้อยกว่าเป็นจริง เพราะ Ca^{2+} จะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตบัพเฟอร์ให้ตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต และ H^+ ออกมา จึงจำเป็นที่จะต้องปรับพีเอชให้เหมาะสมเพื่อให้ผลของการวิเคราะห์ที่ได้มีค่าที่ถูกต้อง

การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำก่อนทำการทดลองมีความสำคัญมาก ในกรณีที่ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ทันทีจำเป็นต้องเก็บตัวอย่างน้ำไว้ระยะหนึ่งก่อนทำการวิเคราะห์ ควรเติมกรด Sulfuric conc. 0.8 มล. ต่อทุกๆ 1 ลิตร ของตัวอย่างน้ำ ถ้าในตัวอย่างน้ำมีคลอรีนตกค้างควรกำจัดเสียทันทีที่เก็บตัวอย่างน้ำนั้นๆ มา

2.1 การวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน

โดยทั่วไปน้ำทิ้งโดยเฉพาะน้ำทิ้งก่อนผ่านระบบบำบัด จะมีความสกปรก และการปนเปื้อนสูง ดังนั้นการวิเคราะห์ก็ต้องกำจัดสารปนเปื้อนออกก่อน โดยการกลั่น (Distillation) แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการไทเทรต หรือทำให้เกิดสีโดยวิธี Nesslerization ต่อไป

หลักการทั่วไปของการกลั่น

หลักสำคัญ คือ แอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะถูกกลั่นออกมา ถ้ารักษาพีเอชให้อยู่ใกล้เคียงกับ 7.4 เนื่องจากน้ำตามธรรมชาติมีพีเอชและขีดความสามารถเป็นบัพเฟอร์ต่างกัน ดังนั้นในการกลั่นจำเป็นต้องใส่สารละลายบัพเฟอร์เพื่อควบคุมพีเอชให้อยู่ใกล้เคียง 7.4 ตลอดการกลั่น ถ้าพีเอชสูงเกินไปสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย แต่ถ้าพีเอชต่ำไปแอมโมเนียจะถูกกลั่นออกมาไม่หมด เนื่องจากแอมโมเนียเป็นสารที่ระเหยได้ง่าย จึงจำเป็นต้องจับไว้โดยให้แอมโมเนียที่ถูกกลั่นออกมาทำปฏิกิริยากับกรด Sulfuric หรือกรด Boric โดยผ่านส่วนที่กลั่นออกมาลงไปในสารละลายดังกล่าว แล้วจึงนำสารที่ได้นี้ไปหาปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนโดยการเทียบสี หรือโดยการไทเทรตกับสารละลายของกรดซึ่งทราบความเข้มข้นที่แน่นอน เครื่องกลั่นแต่ละหน่วยจะประกอบด้วย เตา ขวดเจลดาค์ (Kjeldahl Flask) ขนาด 500-1,000 มล. ต่อกับกระเปาะแก้ว Connecting Bulb แล้วจึงต่อกับเครื่องควบแน่นชนิดตรง (Vertical Condenser) 1 อัน ซึ่งที่ปลายจะจุ่มอยู่ใต้สารที่จับแอมโมเนีย เครื่องควบแน่นอาจเป็นแก้ว หรือท่ออะลูมิเนียม

เครื่องกลั่นที่ใช้อาจจะประกอบด้วยหนึ่งหน่วย หรือมากกว่าหนึ่งก็ได้ ปกตินิยมเป็น 6 หรือ 8 หรือ 12 หน่วย

2.1.1 น้ำยาเคมี

1) น้ำที่ปราศจากแอมโมเนียละลายอยู่ (*Ammonia-free Water*) เพื่อนำไปใช้ในการเตรียมสารละลายต่างๆในการทดลองนี้เตรียมได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

(1) ใส่ Cation-exchange Resin 10 กรัม ลงในน้ำกลั่น 1,000 มล. เขย่าแรงๆ หรืออาจผ่านน้ำเข้าไปในคอลัมน์ซึ่งมี Cation-exchange Resin ก็ได้

(2) เติมกรด Sulfuric conc. 0.1 มล. ต่อน้ำกลั่น 1,000 มล. แล้วนำไปกลั่นอีกครั้ง

2) สารละลาย *Borate Buffer* นำ Sodium Hydroxide 0.1 โมลาร์ จำนวน 88 มล. เติมลงในสารละลาย Sodium Tetraborate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) 500 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย จนได้ปริมาตร 1,000 มล. (สารละลาย Sodium Tetraborate เตรียมได้โดยนำ 5 กรัม ของ $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) หรือ 9.5 กรัม ของ $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มล.)

3) สารที่ไปทำลายคลอรีน ใส่สารใดสารหนึ่งดังต่อไปนี้ 1 มล. เพื่อกำจัดคลอรีนที่ตกค้าง 1 มก./ล. ในตัวอย่างน้ำ 500 มล. สารที่ไปทำลายคลอรีนมีดังนี้คือ

(1) Phenylasine Oxide ($\text{C}_6\text{H}_6\text{AsO}$) ละลาย Phenylasine Oxide 1.2 กรัม ใน Sodium Hydroxide 0.3 โมล/ล. จำนวน 200 มล. กรองแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 มล. ข้อควรระวัง ห้ามดูด หรือกลืนสารชนิดนี้ เพราะเป็นพิษ

(2) Sodium Aresnite (NaAsO_2) ละลาย Sodium Aresnite 0.93 กรัม ในน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อย แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 มล. ข้อควรระวัง ห้ามดูด หรือกลืนสารชนิดนี้ เพราะเป็นพิษ

(3) Sodium Sulphite (Na_2SO_3) ละลาย Sodium Sulphite 0.9 กรัม ในน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อย แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 มล. สารละลายนี้เตรียมแล้วควรรักษาในที่

(4) Sodium Thiosulfate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ละลาย Sodium Thiosulfate 3.5 กรัม ในน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อย แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 มล. สารละลายนี้ควรเตรียมทุกสัปดาห์

4) สารละลายใช้ปรับพีเอช

(1) Sodium Hydroxide 1 โมล/ล.

(2) กรด Sulfuric 0.5 โมล/ล.

5) สารละลายที่ใช้ดูดกลืนแอมโมเนีย (*Absorbent Solution*) เลือกใช้ตามวิธี

วิเคราะห์

(1) Boric Acid Solution (H_3BO_3) ละลายกรด Boric 20 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 มล.

(2) Indicating Boric Acid Solution ละลายกรด Boric 20 กรัมในน้ำกลั่น เติมน้ำ Mixed Indicator ลงไป 10 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 มล.

การเตรียม Mixed Indicator ละลาย Methyl Red Indicator 200 มก. ใน Ethyl Alcohol (ร้อยละ 95) 100 มล. (หรือ Isopropyl Alcohol) และละลาย Methylene Blue 100 มก. ใน Ethyl Alcohol (ร้อยละ 95) 100 มล. (หรือ Isopropyl Alcohol) แล้วผสมสารละลายทั้ง 2 ชนิดเข้าด้วยกันสารละลายนี้ควรเตรียมทุกๆเดือน

ข้อสังเกต สารละลาย Indicating Boric Acid จะมีสีม่วงถ้าไม่มีแอมโมเนีย ละลายอยู่ถ้ามีแอมโมเนียละลายอยู่จะได้สีเขียว แสดงว่าสารละลายนี้ใช้ไม่ได้ให้เตรียมใหม่ และควรเตรียมทุกๆเดือน

6) สารละลายมาตรฐานกรด H_2SO_4 0.01 โมล/ล. หรือ 0.02 นอร์มัล

7) สารละลาย Zinc Sulphate ละลาย Zinc Sulphate Heptahydrate ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) 100 กรัม ในน้ำกลั่นเล็กน้อยแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 มล.

8) Sodium Hydroxide 6 โมล/ล. ละลาย 240 กรัม Sodium Hydroxide ในน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อย แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มล.

9) สารละลาย Stabilizer ใช้ชนิดใดชนิดหนึ่งดังต่อไปนี้

(1) สารละลาย Ethylenediamine Tetraacetic Acid (EDTA) ละลาย Disodium Ethylenediamine Tetracetate Dihydrate [$CH_2N(COOH)CH_2COONa$] $_2 \cdot 2H_2O$ 50 กรัม ในน้ำ 60 มล. ซึ่งมี Sodium Hydroxide ละลายอยู่ 10 กรัม ถ้าไม่ละลายค่อยๆให้ความร้อนจนละลายได้หมด ทิ้งให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง แล้วจึงเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 มล.

(2) สารละลายเกลือ Rochelle สารละลาย Potassium Sodium Tartrate Tetrahydrate ($KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$) 50 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มล. แล้วต้มไล่แอมโมเนียซึ่งอาจจะมียู่ในเกลือชนิดนี้จนปริมาตรลดลงไป 30 มล. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 100 มล.

10) สารละลาย Nessler

(1) ละลาย Mercury (II) Iodide (HgI_2) 100 กรัม และ Potassium Iodide 70 กรัม ในน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อย

(2) ละลาย Sodium Hydroxide 160 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มล.

(3) ค่อยๆ เติมน้ำกลั่นในข้อ (1) ทีละน้อยลงในสารละลายในข้อ (2) แล้วจึงเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 มล. สารละลายนี้ควรเก็บไว้ในขวดแก้ว Borosilicate สีชา ปิดด้วยลูกยาง และไม่ให้ออกแสงสว่าง ซึ่งสามารถจะเก็บไว้ได้นานถึง 1 ปีในห้องปฏิบัติการ

หมายเหตุ ก่อนที่จะใช้สารละลายนี้ควรตรวจดูก่อนว่ายังใช้ได้หรือไม่ โดยนำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายที่มีแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ความเข้มข้น 100 มก./ล. สีควรเกิดขึ้นภายใน 10 นาที และต้องไม่มีตะกอนเกิดขึ้นถึงแม้ว่าจะมีแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจำนวนเพียงเล็กน้อยเมื่อตั้งทิ้งไว้นาน 2 ชม. ข้อควรระวัง สารนี้เป็นพิษ ห้ามสูด หรือกลืน

11) สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย ละลาย Anhydrous Ammonium Chloride (NH_4Cl) ที่อบแห้งอุณหภูมิ 100°C 3.819 กรัมในน้ำกลั่น 1,000 มล. สารละลายนี้จะเก็บไว้ใช้เป็น Ammonia Stock Solution ซึ่ง 1 มล. = 1.00 มก. ไนโตรเจน = 1.22 มก. แอมโมเนีย นำ Ammonia Stock Solution มา 10 มล. เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 มล. สารละลายนี้ 1 มล. = 10 มก. ไนโตรเจน = 12.2 มก. แอมโมเนีย

2.1.2 วิธีการวิเคราะห์หาแอมโมเนีย-ไนโตรเจนโดยการกลั่น

- 1) สำหรับตัวอย่างน้ำที่เป็นกรดหรือด่าง ต้องปรับให้เป็นกลางก่อนด้วย Sodium Hydroxide 1 โมล/ล. หรือกรด H_2SO_4 0.5 โมล/ล.
- 2) ตวงตัวอย่างน้ำที่ได้ปรับพีเอชให้เป็นกลางแล้ว 500 มล. หรือน้อยกว่านั้น แต่ต้องทำให้เจือจางเป็น 500 มล. ใส่ลงในขวดเจลดาค่าขนาด 800 มล. ใส่ลูกแก้ว 3-4 เม็ด
- 3) เติมสารละลาย Borate Buffer 25 มล. ลงในตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ ปรับพีเอชให้ได้ 9.5 โดยใช้ 6 โมลาร์ Sodium Hydroxide.
- 4) นำตัวอย่างน้ำในขวดเจลดาค่าจากข้อ (3) ไปกลั่น โดยต่อกับ Connecting Bulb ซึ่งจะต่อกับเครื่องควบแน่นอีกทีหนึ่ง โดยให้ปลายของ Safety Bulb จุ่มอยู่ใต้สารละลายจับแอมโมเนียควบคุมอัตราเร็วในการกลั่นให้อยู่ระหว่าง 6-10 มล./นาที
- 5) เก็บส่วนที่กลั่นออกมาให้ได้ประมาณ 200 มล. ไว้ในขวดขนาด 250 มล. ซึ่งมีสารละลายจับแอมโมเนีย ปริมาตร 50 มล. นำส่วนที่กลั่นได้นี้ไปหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนด้วยวิธี Nesslerization หรือโดยวิธีไทเทรตต่อไป
- 6) ทำ Blank โดยใช้ Reagent เหมือนกับตัวอย่างน้ำทุกอย่าง แล้วนำไปกลั่น

2.1.3 วิธี Nesslerization

นำน้ำที่ได้จากการกลั่นดังกล่าวข้างต้น ซึ่งใช้กรดบอริกเป็นสารละลายจับแอมโมเนียมาทำให้เป็นกลางโดยใช้ Sodium Hydroxide 6 โมล/ล. การทำให้เกิดสี

- 1) ตวงน้ำตัวอย่าง 50 มล. หรือน้อยกว่านี้ แต่ต้องทำให้เจือจางเป็น 50 มล. ใส่ในหลอด Nessler
- 2) เติมสารละลาย Stabilizer 1-2 หยด ข้อ 9) (1) หรือ 9) (2)

3) เติมสารละลาย Nessler 2 มล. ถ้าเลือกใช้ EDTA ข้อ 9) (1) เป็น Stabilizer หรือเติมสารละลาย Nessler 1 มล. เมื่อใช้เกลือ Rochelle ข้อ 9) (2) เป็น Stabilizer

4) ปิดจุกหลอด Nessler เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์อย่างน้อย 10 นาที หลังจากเติมสารละลาย Nessler ถ้าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนน้อยให้ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที

5) นำสารละลายที่ได้ไปอ่านค่า Transmittance ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ควบคุมค่า Transmittance ของตัวอย่างน้ำ เทียบกับ Blank และสารละลายแอมโมเนียมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น โดยเฉพาะในช่วงของตัวอย่างน้ำนั้นๆ

6) การหาปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนโดยการวัดค่า Transmittance แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าของกราฟมาตรฐาน จะทำให้ทราบของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้ การสร้างกราฟมาตรฐานจะต้องสร้างที่เวลา อุณหภูมิ และสภาพอย่างเดียวกันกับตัวอย่างน้ำเสียก่อน โดยนำสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นต่างๆกันมาใส่สารละลาย เช่นเดียวกับที่ใช้กับตัวอย่างน้ำเพื่อให้เกิดสีขึ้น แล้วจึงนำไปวัดค่า Transmittance จากสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่างๆ เหล่านั้น ค่าที่ได้นำมาเขียนกราฟกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะได้กราฟมาตรฐานซึ่งเป็นเส้นตรง

หมายเหตุ ควรทำกราฟมาตรฐานสำหรับอ่านค่าใหม่ทุกครั้ง เมื่อมีการเตรียมสารละลาย Nessler ใหม่

2.1.4 วิธีไทเทรต

ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยสารละลายมาตรฐานกรด H_2SO_4 0.02 นอร์มัล หรือ 0.01 โมล/ล. ใช้สารละลายจับแอมโมเนียเป็น Indicating Boric Acid เมื่อถึงจุดยุติจะได้สีม่วงอ่อน (Pale Lavender)

การคำนวณ

$$\text{มก./ล. แอมโมเนีย-ไนโตรเจน} = \frac{(A-B) \times 280}{\text{มล. ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการกลั่น}}$$

A = มล. ของกรด H_2SO_4 มาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างน้ำ

B = มล. ของกรด H_2SO_4 มาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับ Blank

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำดังกล่าว บางครั้งต้องทำการปรับสภาพ (Modify) ตัวอย่างน้ำเสียก่อนซึ่งมีหลักการพอสรุปได้ดังนี้ คือ

1) สำหรับน้ำเสียที่ค่อนข้างสกปรก หรือน้ำทิ้งที่ได้รับการบำบัดอย่างดีแล้ว และมีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่ำกว่า 1 มก./ล. ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 ได้โดยไม่ต้องปรับสภาพ

2) น้ำสกปรกมาก น้ำทิ้งที่ได้รับการบำบัดแล้ว และน้ำเสียจากชุมชน ซึ่งมีแอมโมเนีย-ไนโตรเจนประมาณ 1-10 มก./ล. ถ้าจะวิเคราะห์โดยการกลั่นให้ใช้ตัวอย่างน้ำ 100-400 มล. และใช้ตัวอย่างน้ำเพียง 5 มล. แล้วทำให้เจือจางเป็น 50 มล. สำหรับการวิเคราะห์ที่ใช้วิธี Nesslerization (ถ้าตัวอย่างน้ำมีความขุ่นมากต้องทำตัวอย่างน้ำให้ใสโดย Zinc Sulfate และ Sodium Hydroxide ก่อน) หรือถ้ามีแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเข้มข้นมากขึ้น อาจลดปริมาณตัวอย่างน้ำให้น้อยลงตามส่วน

3) ตัวอย่างน้ำซึ่งมีความเป็นกรด หรือด่างผิดปกติ เนื่องจากเป็นน้ำเสียมาจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือจากสาเหตุอื่นๆ ถ้าจะทำการวิเคราะห์โดยการกลั่นต้องทำให้เป็นกลางเสียก่อน แล้วจึงจะทำตามวิธีการกลั่น และตรวจดูพีเอชของตัวอย่างน้ำหลังทำการกลั่นแล้ว ถ้าพีเอชไม่ได้อยู่ระหว่าง 7.2-7.6 ให้ทิ้งตัวอย่างน้ำนั้นเสียเสีย แล้วทำใหม่อีกครั้ง โดยใส่สารละลาย Buffer Phosphate เพิ่มขึ้นอีกสำหรับตัวอย่างน้ำชนิดนี้ไม่ควรทำโดยวิธี Nesslerization

4) ตะกอนเลน ซึ่งตัวอย่างของตะกอนเลน หรือ Sediment Sample ประมาณร้อยละ 1 ของตัวอย่างซึ่งมีของแข็ง คือ เป็นน้ำหนักแห้ง 1 กรัม ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 250 มล. แล้วจึงนำไปวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยวิธีการกลั่น ถ้าตัวอย่างน้ำที่ใช้เมื่อไปกลั่นเกิดฟองมากให้ใส่พาราฟินชั้นเล็กๆ 1 ชั้นลงไป จะป้องกันการเกิดฟองได้

2.2 การวิเคราะห์ไนโตรเจนอินทรีย์ (Organic Nitrogen) ไนโตรเจนอินทรีย์ที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำอาจอยู่ในรูปสารประกอบเหล่านี้ คือ กรด Amino Polypeptide โปรตีน และสารประกอบไนโตรเจน ซึ่งเป็นองค์ประกอบอันเกิดจากกระบวนการทางชีวภาพ (Organic – Nitrogen Biological Process) ไนโตรเจนอินทรีย์ที่จะกล่าวถึงนี้หาได้ด้วยวิธีเจลดาคัล มี Mercury (II) Sulfate เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งจะเปลี่ยนพวกไนโตรเจนอินทรีย์ให้เป็น Ammonium Sulfate หลังจากการย่อยสลายด้วยกรด Sulfuric ที่มี Potassium Sulfate เป็นตัวเพิ่มจุดเดือดให้สูงขึ้นถึง 311-371 ° ซ แต่อุณหภูมิไม่ควรสูงกว่า 382 ° ซ เพราะจำทำให้ไนโตรเจนบางส่วนสูญหายไปได้ หลังจากการย่อยสลายแล้วให้เจือจางส่วนที่เหลือภายในขวดเจลดาคัล แล้วทำให้เป็นด่างด้วย Sodium Hydroxide conc. นำไปกลั่นโดยมีสารละลายกรด Boric เป็นตัวดูดกลืน เพื่อนำไปหาปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่อไปโดยการเทียบสี หรือโดยการไทเทรตดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

ไนโตรเจนอินทรีย์ที่หาได้จากวิธีนี้ จะไม่รวมถึงสารประกอบพวก Nitrogen Azide, Azine, Hydrazone, Nitrate, Nitrite, Nitrile, Nitro, Nitroso, Oxime และ Semi-carbazone

สำหรับการวิเคราะห์นี้ ถ้าไม่ได้แยกแอมโมเนีย-ไนโตรเจนออกก่อน ผลที่ได้จะเป็นค่า TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen

2.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องมือในการย่อยสลาย (*Digestion Unit*) จะต้องมีเครื่องดูดอากาศเพื่อ ดูดไอน้ำและควัน Sulfur Trioxide ออกทิ้ง

2) เครื่องกลั่น ชุดเดียวกับการหาแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

2.2.2 **น้ำยาเคมี** สารละลายทุกชนิดที่ใช้ในการหาแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ใช้ได้กับ หาไนโตรเจนอินทรีย์ นอกจากนั้นแล้วยังมีน้ำยาเคมีต่อไปนี้ด้วย

1) สารละลายสำหรับการย่อยสลาย (*Digestion Solution*) ละลาย Potassium Sulfate (K_2SO_4) 134 กรัม ในน้ำ 650 มล. ผสมกรด Sulfuric conc. 200 มล. แล้วละลาย Red Mercury (II) oxide. H_2O 2 กรัม ในกรด H_2SO_4 3 โมล/ล. ค่อยๆเติมลงในสารละลาย Potassium Sulfate แล้ว เติมน้ำกลั่นทำให้เป็น 1,000 มล. เก็บไว้ในที่ๆ มีอุณหภูมิสูงกว่า $14^\circ C$ เพื่อป้องกันการตกตะกอน

2) *Phenolphthalein Indicator*

3) สารละลาย *Sodium Hydroxide-Sodiumthiosulfate* ละลาย Sodium Hydroxide 500 กรัม และ Sodiumthiosulphate Pentahydrate ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) 25 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 มล.

2.2.3 วิธีการวิเคราะห์

1) การเลือกปริมาตรของตัวอย่างน้ำที่ใช้เหมาะสม ปริมาตรของตัวอย่างน้ำที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณของไนโตรเจนอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำนั้นๆ ดังรายละเอียดที่แสดงไว้ในตารางที่

ตารางที่ 13 ปริมาตรของตัวอย่างน้ำที่เหมาะสมในการหาไนโตรเจนอินทรีย์

ไนโตรเจนอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำ (มก./ล.)	ปริมาตรของตัวอย่างน้ำ (มล.)
0-1	500
1-10	250
10-20	100
20-50	50
50-100	25

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2545) ตำราบำบัดมลพิษน้ำ กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

- 2) นำส่วนที่เหลือจากการหาแอมโมเนีย-ไนโตรเจนดังกล่าวมาวิเคราะห์หาไนโตรเจนอินทรีย์ต่อไปได้โดย
- (1) เติมสารละลายสำหรับย่อยสลายไนโตรเจนอินทรีย์ 50 มล.
 - (2) ต้มเคี้ยวจนได้สารละลายใส เคี้ยวต่อไปอีก 20-30 นาที ทิ้งให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่นลงไป 300 มล.
 - (3) ทำให้เป็นด่าง ด้วยสารละลาย Sodium Hydroxide-Sodiumthiosulphate ประมาณ 50 มล. โดยใช้ Phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์แล้วนำไปกลั่นลงในสารละลาย Indicating Boric Acid 50 มล. ปริมาตรทั้งหมดเป็น 200 มล.
 - (4) ทำส่วนที่กลั่นได้ให้เย็น นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรด $H_2SO_4 + 0.02$ นอร์มัล หรือ 0.01 โมล/ล. โดยใช้ Mix Indicator 2-3 หยด จนเท่ากับปริมาตรของกรด $H_2SO_4 + 0.02$ นอร์มัล หรือ 0.01 โมล/ล. โดยใช้ Mix Indicator 2-3 หยด จนเท่ากับปริมาตรของกรด H_2SO_4 มาตรฐานที่ใช้ไว้

การคำนวณ

$$\text{มก./ล. ไนโตรเจนอินทรีย์} = \frac{(A-B) \times 280}{\text{มล.ของตัวอย่างน้ำที่ใช้}}$$

A = มล. สารละลายกรด H_2SO_4 ที่ใช้สำหรับตัวอย่างน้ำ

B = มล. สารละลายกรด H_2SO_4 ที่ใช้สำหรับ Blank

หมายเหตุ มก./ล. ทีเคเอ็น = มก./ล.แอมโมเนีย – ไนโตรเจน + มก./ล. ไนโตรเจนอินทรีย์

3. ฟอสฟอรัสและฟอสเฟต (Phosphorus and Phosphate)

ฟอสฟอรัสในน้ำธรรมชาติและในน้ำเสียอยู่ในรูปต่างๆ กันของฟอสเฟต เช่น ออร์โทฟอสเฟต อินทรีย์ฟอสเฟต หรือคอนเด็นส์ฟอสเฟต ฟอสเฟตเหล่านี้อาจจะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำหรือในรูปของซากพืชและสัตว์ ฟอสเฟตรูปต่างๆ เข้ามาปะปนในน้ำธรรมชาติและน้ำเสียได้หลายทาง เช่น เต็มลงไปใต้น้ำประปาเพื่อป้องกันการตกตะกอนภายหลังของ $CaCO_3$ และเพื่อหลีกเลี่ยงการทำ Recarbonation นอกจากนี้ยังมาจากน้ำที่ใช้ในการซักฟอก หรือล้างชามซึ่งใช้ผงซักฟอก (ในรูปฟอสเฟตและโพลีฟอสเฟต) จากปุ๋ยซึ่งใช้ในการเกษตร (ในรูปของออร์โทฟอสเฟต) ซึ่งถูกชะล้างมาในน้ำฝน เป็นต้น

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ และมักจะพบว่าเป็น Growth Limiting Nutrient ของแหล่งน้ำอยู่เนืองๆ ดังนั้นในการปล่อยน้ำเสีย หรือน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วก็ตามลงในแหล่งน้ำ อาจจะกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็ว อันก่อให้เกิดปัญหาอื่นๆ ตามมาได้

ฟอสเฟตที่พบในสลัดจ์และในกากตะกอน มักมีทั้งรูปตะกอนอนินทรีย์ฟอสเฟต และรูปอินทรีย์ฟอสเฟต ซึ่งอาจใช้ไปทำเป็นปุ๋ยได้ ในโรงงานที่ใช้ไอน้ำจากหม้อต้มน้ำได้เติม Complex Phosphate ลงไปเพื่อไม่ให้เกิดตะกอนอันอาจทำให้หม้อน้ำระเบิด แต่สารเหล่านี้ถูกไฮโดรไลส์ได้ง่ายที่อุณหภูมิสูงไปเป็นออร์โทฟอสเฟต จึงต้องทำการหาปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำเพื่อควบคุมระดับของฟอสเฟตให้ได้ตามที่ต้องการ

3.1 สารประกอบของฟอสฟอรัส อาจแบ่งรูปฟอสฟอรัสในน้ำได้ดังนี้

3.1.1 ออร์โทฟอสเฟต ที่พบมาก คือ Trisodium Phosphate (Na_3PO_4), Disodium Phosphate (Na_2HPO_4), Monosodium Phosphate (NaH_2PO_4), Diammonium Phosphate ($(NH_4)_2HPO_4$)

3.1.2 โพลีฟอสเฟต เช่น Sodium Hexametaphosphate $Na_3(PO_3)_6$, Sodiumtripoly Phosphate ($Na_5P_3O_{10}$), Tetrasodium Pyrophosphate ($Na_4P_2O_7$) สารพวกนี้เป็น Dehydrated Phosphate ดังนั้นจะถูกไฮโดรไลส์ในน้ำกลับไปเป็น Orthophosphate ตามเดิม อัตราเกิดปฏิกิริยารับน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ พีเอชที่ต่ำ และจะเกิดในน้ำเสียได้เร็วกว่าในน้ำบริสุทธิ์

3.1.3 อินทรีย์ฟอสเฟต เช่น Nucleic Acid Phospholipids, Sugar Phosphate เป็นต้น

3.2 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสและฟอสเฟต

ส่วนใหญ่แล้วต้องการหาฟอสฟอรัสในรูป Ortho, Poly และ Organic Phosphorus ที่มีอยู่ในน้ำ ซึ่งในการหา Poly และ Organic Phosphorus นี้ต้องเปลี่ยนให้ไปอยู่ในรูปออร์โทฟอสเฟตก่อนปฏิบัติการ

3.2.1 การวิเคราะห์ฟอสเฟตในน้ำเสีย

1) การเปลี่ยนฟอสฟอรัสในรูปที่สนใจจะหาในรูปออร์โทฟอสเฟตซึ่งละลาย

(1) Total Phosphate ในการหา Total Phosphate ซึ่งเป็นฟอสเฟตในรูปต่างๆ ดังกล่าวตอนต้นจะต้องเปลี่ยนให้มาอยู่ในรูปของออร์โทฟอสเฟต โดยการย่อยซึ่งมี 3 วิธี คือ วิธี Perchloric Acid ซึ่งเป็นวิธีที่ยุงยากและกินเวลาที่สุดโดยมาใช้กับตัวอย่างที่ถูกย่อยยาก เช่น กากตะกอน วิธี Nitric Acid-Sulfuric Acid ใช้กับตัวอย่างทั่วไป ส่วนวิธีสุดท้ายคือ Persulfate Oxidation จัดเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด โดยมากใช้เพื่อตรวจสอบเมื่อใช้วิธีอื่นด้วย

(2) Condensed Phosphate หรือ Acid Hydrolyzable Phosphate ในการหา Condensed Phosphate จะต้องเปลี่ยนให้มาอยู่ในรูปของออร์โทฟอสเฟต โดยการทำให้ Acid Hydrolysis ค่า Condensed Phosphate ในตัวอย่าง คือผลต่างระหว่างค่าออร์โทฟอสเฟตซึ่งวัดได้จาก Untreated Sample กับออร์โทฟอสเฟตที่หาได้จากภายหลังจากทำ Acid Hydrolysis

(3) การหาปริมาณฟอสเฟตซึ่งจะถูกเปลี่ยนให้มาอยู่ในรูปออร์โทฟอสเฟตแล้วใช้ Colorimetric Method ซึ่งมี 3 วิธี การจะเลือกวิธีไหนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออร์โทฟอสเฟตวิธี Vanadomolybic Acid ใช้มากสำหรับงานประจำที่มีฟอสเฟตในช่วง 0.2-18 มก. ฟอสฟอรัส/ล. ส่วนวิธี Stannous Chloride และ Ascorbic Acid เหมาะสำหรับตัวอย่างที่มีฟอสเฟต 0.01-6 มก.ฟอสฟอรัส/ล.

3.3 การกรองขั้นต้น (Preliminary Filtration Step) ตัวอย่างที่ทำการหาค่า Filtrable Orthophosphate, Filtrable Acid-Hydrolyzable Phosphate และ Total Filtrable Phosphate จะต้องนำมากรองผ่าน Membrane Filter ซึ่งมี Pore Size ขนาด 0.45 ไมครอน ถ้าไม่มีขนาดนี้ให้ใช้ขนาดตั้งแต่ 0.4-0.6 ไมครอนแทน และรายงานขนาดของ Pore Size ที่ใช้ด้วย Membrane Filter ที่ใช้ควรแช่ไว้ในน้ำกลั่นก่อนประมาณ 24 ชม. (50 แผ่น/น้ำกลั่น 2 ลิตร) ก่อนใช้

3.4 การไฮโดรไลซิสขั้นต้นด้วยกรดสำหรับฟอสเฟตเข้มข้น (Preliminary Acid Hydrolysis Step for Condensed Phosphate) ปริมาณ Acid-Hydrolyzable Phosphate ในตัวอย่าง คือผลต่างระหว่างค่าออร์โทฟอสเฟตซึ่งวัดได้จาก Untreated Sample กับฟอสเฟตที่หาได้จากภายหลังจากทำ Acid-Hydrolysis ส่วนใหญ่แล้วจะรวมพวก Condensed Phosphate (pyro-, tripoly- และพวกที่มี

น้ำหนักโมเลกุลสูงๆ เช่น Hexametaphosphate) หลังจาก Hydrolysis แล้วหาออร์โทฟอสเฟตโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง (ในวิธีการหาออร์โทฟอสเฟตซึ่งจะกล่าวต่อไป)

3.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) หม้อนึ่งอัดไอ Autoclave (15-20 psi)

3.4.2 น้ำยาเคมี

- 1) สารละลาย Phenolphthalein Indicator
- 2) สารละลายกรดแก่ ค่อยๆ เติมกรด H_2SO_4 conc. 300 มล. ลงในน้ำกลั่น 600 มล. ทำให้เย็น แล้วเติมกรด HNO_3 conc. 4 มล. ลงไปเติมน้ำจนครบ 1 ลิตร
- 3) Sodium Hydroxide 6 นอร์มัล

3.4.3 วิธีการวิเคราะห์

- 1) ปิเปตตัวอย่าง 100 มล. หรือน้อยกว่านั้น แล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตร 100 มล. เติม Phenolphthalein 1 หยด ถ้าได้สีชมพูให้ค่อยๆ เติมกรดแก่ลงไปทีละหยดจนกระทั่งสีหายไป เติมให้เกินพอ 1 มล.

- 2) ต้มให้เดือดอ่อนๆ อย่างน้อย 90 นาที เติมน้ำกลั่นอยู่เรื่อยๆ เพื่อรักษาปริมาตรให้ได้ 20-50 มล. หรืออาจจะใช้ใส่หม้อนึ่งอัดไอที่ 15 psi 30 นาที ทำให้เย็นแล้วสะเทินด้วย NaOH จนได้สีชมพูอ่อน เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มล.

ในกรณีที่จะใช้ใส่หม้อนึ่งอัดไอให้ต้มให้เดือดอ่อนๆ เพื่อลดปริมาตรลงนิดหน่อยก่อนเพราะเมื่อเข้าหม้อนึ่งอัดไอปริมาตรอาจเพิ่มขึ้นบ้าง ซึ่งจะทำให้ปริมาตรสุดท้ายเกิน 100 มล.

- 3) เตรียม Calibration Curve โดยทำอนุกรมของสารละลายมาตรฐานออร์โทฟอสเฟตซึ่งผ่านการไฮโดรไลซิสแล้ว อาจใช้สารละลายมาตรฐานออร์โทฟอสเฟตที่ไม่ได้ผ่านการไฮโดรไลซิสได้

- 4) หาปริมาณออร์โทฟอสเฟตโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง โดยใช้ Colorimetric Method ค่าที่ได้จะเป็นผลบวกของ Polyphosphate (หรือ Condensed Phosphate) และออร์โทฟอสเฟตในตัวอย่างเพื่อจะหาค่าของ Acid-Hydrolyzable Phosphate ให้หาค่าออร์โทฟอสเฟตจากตัวอย่างซึ่งไม่ทำการไฮโดรไลซิสโดยใช้วิธีเดียวกับที่ใช้หา Treated Sample แล้วเอามาลบกัน

3.5 การย่อยขั้นต้นสำหรับฟอสเฟตทั้งหมด (Preliminary Digestion Step for Total Phosphorus) ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของตัวอย่างรวมถึงออร์โทฟอสเฟต Condensed Phosphate ที่ละลายและไม่ละลายน้ำ ทั้งอินทรีย์และอนินทรีย์สาร เพื่อจะจับฟอสเฟตที่รวมอยู่กับสารอินทรีย์ต้องนำตัวอย่างมาย่อยหรือออกซิไดซ์ก่อน ความรุนแรงของการย่อยที่จะใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างดังกล่าวแล้วข้างต้น วิธีที่ใช้ในการย่อยมีหลายวิธีดังนี้

3.5.1 Sulfuric acid-Nitric acid Digestion

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

- (1) Hood สำหรับดูดควันออก
- (2) บีกเกอร์ขนาด 150 มล. กระจกนาฬิกาเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม.
- (3) Hot Plate ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ไม่เกิน 200 ° ซ
- (4) Volumetric Flask ขนาด 50 มล.
- (5) Erlenmeyer Flask ขนาด 125 มล.

2) น้ำยาเคมี

- (1) กรด H_2SO_4 conc.
- (2) กรด HNO_3 conc.
- (3) สารละลาย Phenolphthalein Indicator
- (4) Sodium Hydroxide 5 นอร์มัล

3.5.2 วิธีการวิเคราะห์

- 1) นำตัวอย่าง 50 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 150 มล. เติมกรด H_2SO_4 conc. 0.5 มล. และกรด HNO_3 conc. 2.5 มล.
 - 2) นำตัวอย่างมาตั้งบน Hot Plate ที่ควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 220 ° ซ ใส่ Glass-bead 5 เม็ด ปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา
 - 3) ย่อยตัวอย่างจนได้ปริมาตร 10 มล. แล้วย่อยต่อไปจนกระทั่งได้สารละลายที่ไม่มีสีเพื่อไล่ HNO_3
 - 4) ทำให้เย็น เติมน้ำกลั่นประมาณ 10 มล. กรองสารละลายด้วย กระดาษกรอง GF/A ใน Volumetric Flask ขนาด 50 มล. หยด Phenolphthalein 5 หยด ค่อยๆเติม Sodium Hydroxide 5 นอร์มัล จนได้สีชมพูอ่อน เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 50 มล. และเทใส่ Erlenmeyer Flask ขนาด 125 มล. และทำให้สีชมพูหายไปโดยหยด กรด H_2SO_4 conc. 2-3 หยด จนสีชมพูหายไป
 - 5) หาค่าฟอสฟอรัสโดยใช้ Colorimetric Method ต่อไป
 - 6) เตรียม Calibration Curve
- หมายเหตุ ย่อยตัวอย่างอุณหภูมิไม่เกิน 220 ° ซ จะได้ Phosphorus ในรูปออร์โทฟอสเฟตถ้าอุณหภูมิมากกว่า 220 ° ซ จะได้ในรูป Pyrophosphate

3.6 การวิเคราะห์ออร์โทฟอสเฟตโดย Colorimetric Method

3.6.1 วิธีที่ 1. Vanadomolybdophosphoric Acid Colorimetric Method แอมโมเนีย

โมลิบดีนัมจะทำปฏิกิริยากับออร์โทฟอสเฟตภายใต้สภาวะที่เป็นกรด เกิดเป็น Heteropoly Acid, Molybdophosphoric Acid เมื่อมีแวนาเดียมอยู่ด้วยจะเกิดเป็น Vanadomolybdophosphoric Acid ซึ่งมี

สีเหลือง ความเข้มข้นของสีเป็นปฏิภาคกับความเข้มข้นของฟอสเฟตในสารละลายนั้น วิธีนี้สามารถวัดฟอสฟอรัสในความเข้มข้นต่ำได้ ถึง 20 มก.ฟอสฟอรัส/ล. ในเซลล์ขนาด 1 ซม.

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

(1) Colorimetric Equipment ไม่ควรเปรียบเทียบสีด้วยตา เพราะ Sensitivity ของวิธีนี้ขึ้นอยู่กับ Wavelength ที่ใช้ อาจใช้อย่างใดอย่างหนึ่งของ

- ก Spectrophotometer ที่ 400-490 นาโนเมตร
- ข Filter Photometer พร้อมด้วย Blue หรือ Violet Filter ที่แสดงว่า Maximum Transmittance ระหว่าง 400 และ 470 นาโนเมตร (nm) Sensitivity ในการวัดแปรผันไปได้ ถึง 10 เท่าในช่วง Wavelength ต่างๆ กันดังตารางที่

ตารางที่ 14 Wavelength ของ Colorimetric Equipment

Range mg/l P	Wavelength, nm
1.0-5.0	400
2.0-10	420
4.0-18	470

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2545) ตำราบำบัดมลพิษน้ำ กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

(2) Acid-washed Glassware สำคัญมากโดยเฉพาะถ้าตัวอย่างมีฟอสฟอรัสในความเข้มข้นต่ำๆ ไม่ควรใช้ผงซักฟอกที่มีฟอสเฟตล้างเครื่องแก้ว เครื่องแก้วควรล้างด้วยกรดล้างแก้วแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจนสะอาด และควรแยกเครื่องแก้วที่ใช้หาฟอสเฟตไว้ต่างหาก ไม่ปนกับเครื่องแก้วอื่น

2) น้ำยาเคมี

- (1) สารละลาย Phenolphthalein Indicator
- (2) กรด HCl conc.
- (3) Activated Carbon
- (4) Vanadate-molybdate Reagent

ก สารละลาย A ละลาย 25 กรัม Ammonium Molybdate ในน้ำกลั่น 400 มล.

ข สารละลาย B ละลาย 1.25 กรัม Ammonium Metavanadate (NH_4VO_3) ให้เขียนจนเท่าอุณหภูมิห้อง เทสารละลาย A ลงในสารละลาย B เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร

(5) สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ละลาย 219.5 มก. KH_2PO_4 (Anhydrous) เติมน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มล. 1 มล. ของสารละลายนี้ = 50 มก. Phosphate-P = 20 มก. Phosphate-P ต่อลิตร

3) วิธีการวิเคราะห์

(1) การปรับพีเอชของตัวอย่าง ถ้าพีเอชของตัวอย่างอยู่ระหว่าง 4-10 ไม่จำเป็นต้องทำการปรับ ถ้าพีเอชต่ำกว่า 4 ให้นำตัวอย่างมา 50 มล. เติมน้ำกลั่นจนได้ 1 ลิตร โดยใช้ขวดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน ใช้ตัวอย่างที่ทำให้เจือจางแล้วนี้ในขั้นต่อไป ถ้าพีเอชสูงกว่า 10 ให้เติม Phenolphthalein 1 หยดลงในตัวอย่าง 50 มล. แล้วค่อยๆ เติมกรด H_2SO_4 conc. ทีละหยด จนกระทั่งสีแดงหายไปเติมน้ำกลั่นจนครบ 100 มล. ในกรณีที่ตัวอย่างมีความเข้มข้นมากกว่า 15 มก. ฟอสเฟตจะต้องทำการเจือจางตัวอย่าง คำว่า มล. ตัวอย่าง ในการคำนวณหมายถึงปริมาตรของตัวอย่างที่ยังไม่ได้ทำการเจือจาง ซึ่งนำมาทำให้เกิดสีจากนั้นนำไปย่อยตามข้อ 1-4 ของวิธี Sulfuric Acid-Nitric Acid Digestion

(2) การกำจัดสีจากตัวอย่าง ทำได้โดยเขย่าตัวอย่าง 50 มล. ด้วย Activated Carbon 200 มก. (Darco G 60) ในขวดรูปกรวย 5 นาที กรองโดยใช้กระดาษกรองของ Whatman No.42 เพื่อขจัดคาร์บอนออก กรองหลายๆ ครั้งด้วย Activated Carbon จนได้สารละลายใส

(3) การทำให้ตัวอย่างเกิดสี นำตัวอย่าง 35 มล. หรือน้อยกว่านี้ (มี 50-100 มก. ฟอสฟอรัส) จากข้อ (1) มาใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มล. เติม Vanadate-molybdate 10 มล. เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร ทำ Blank โดยใช้ น้ำกลั่นแทนและทำตามข้อ (1) ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที (นับจากเวลาที่เติม Vanadate-molybdate) วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเทียบกับ Blank ที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร สีที่เกิดจะอยู่ตัวได้หลายวัน และความเข้มข้นของสีไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากอุณหภูมิห้อง

(4) เตรียม Calibration Curve โดยปิเปตจากสารละลายมาตรฐาน ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสที่มีความเข้มข้น (50 มก./ล) โดยใช้ 0, 2, 5, 10, 30 และ 50 มล. ใส่ในขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 50 มล. เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 50 มล. ทุกขวด จะได้อุณหภูมิของฟอสเฟตที่มีความเข้มข้น 0, 2, 5, 10, 30 และ 50 มก./ล. เมื่อจะวัดฟอสเฟตฟอสฟอรัสที่ช่วงต่ำ เช่น 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 มก./ล ให้ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตฟอสฟอรัส 0.1, 0.2, 0.4,

0.6, 0.8, 1.0 มล. ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มล. เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 50 มล. แล้วใช้สารละลายเหล่านี้เตรียม Standard Curve ของฟอสเฟตฟอสฟอรัสตามวิธีการในข้อ (1) ถึง (3) ต่อไป

การคำนวณ

$$\text{มก./ล. P} = \frac{\text{มก. P} \times 1,000}{\text{มล. ตัวอย่าง}}$$

มล. ตัวอย่าง

3.6.2 วิธีที่ 2. *Ascorbic Acid Method* Ammonium Molybdate และ Potassium

Antimonyl Tartrate จะทำปฏิกิริยาในสารละลายที่เป็นกรดกับสารละลายออร์โทฟอสเฟตเจือจางเกิดเป็น Heteropoly Acid Phosphomolybdic Acid ซึ่งจะถูกรีดิวซ์โดย Ascorbic Acid ได้สี Molybdenum Blue วิธีนี้วัดได้ถึงความเข้มข้นต่ำสุด 1 มก.ฟอสฟอรัส/ล. ซึ่งความยาว Light Path ที่ใช้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของฟอสฟอรัส ดังนี้

ตารางที่ 15 Light Path ที่ความเข้มข้นต่างๆของฟอสฟอรัส

Range mg/l P	Light Path, cm.
0.30-2.0	0.5
0.15-1.30	1.0
0.01-0.25	5.0

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2545) ตำราบำบัดมลพิษน้ำ กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

(1) Colorimetric Equipment อาจใช้อันใดอันหนึ่งข้างล่างนี้

(ก) Spectrophotometer พร้อมด้วย Infrared Phototube สำหรับใช้ที่ 880 นาโนเมตร โดยใช้ Light Path 0.5 ซม. หรือยาวกว่านี้

(ข) Filter Photometer พร้อมด้วย Red Color Filter และ Light Path 0.5 ซม. หรือยาวกว่านี้

(2) Acid-washed Glassware

2) น้ำยาเคมี

(1) สารละลายกรด H_2SO_4 conc. 5 นอร์มัล เติมกรด H_2SO_4 conc. 70 มล. ลงในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 500 มล.

(2) ละลาย Potassium Antimonyl Tartrate 1.3715 กรัม K (SbO)- $C_4H_4O_6 \cdot 1/2 H_2O$ ในน้ำกลั่น 200 มล. เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 500 มล. เก็บในขวดแก้ว

(3) สารละลาย Ammonium Molybdate ละลาย 20 กรัม $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ ในน้ำกลั่น 500 มล. เก็บในขวดพลาสติกที่ 4 o ซ

(4) กรด Ascorbic 0.1 โมลาร์ ละลาย 1.76 กรัม กรด Ascorbic ในน้ำกลั่น 100 มล. สารละลายนี้จะอยู่ตัวประมาณ 1 อาทิตย์ ถ้าเก็บไว้ที่ $4^\circ C$ ในขวดสีชา

(5) น้ำยารวม (Combined Reagent) ผสมน้ำยาเคมีข้างบนในสัดส่วนสำหรับ 100 มล. น้ำยารวมดังนี้ 50 มล. นอร์มัล กรด H_2SO_4 5 มล. สารละลาย Potassium Antimonyl Tartrate 15 มล. สารละลาย Ammonium Molybdate และ 30 มล. กรด Ascorbic ตั้งน้ำยาเคมีเหล่านี้ทิ้งไว้จนมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้องจึงจะผสมกันตามลำดับ ถ้ามีความขุ่นเกิดขึ้นน้ำยารวมหลังจากเติม Potassium Antimonyl Tartrate หรือ Ammonium Molybdate ให้เขย่าน้ำยาเคมีรวมนี้แล้วตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที จนกระทั่งความขุ่นหายไป จึงจะเติมน้ำยาตัวอื่นต่อไป น้ำยารวมนี้อยู่ตัวได้ 4 ชม.

(6) สารละลาย Stock Phosphate เหมือนวิธีที่ 1.

(7) สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต นำสารละลาย Stock Phosphate มา 50 มล. เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มล. 1 มล. = 2.5 มก. ฟอสฟอรัส

3) วิธีการวิเคราะห์

(1) การเตรียมตัวอย่าง ดูดตัวอย่าง 50 มล. ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 125 มล. เติม Phenolphthalein Indicator 1 หยด ถ้าได้สีแดงให้หยด กรด H_2SO_4 5 N ลงไปที่ละหยด จนกระทั่งสีแดงหายไป เติมน้ำยารวม 8 มล. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่ให้เกิน 30 นาที เพื่อให้เกิดสี แล้วอ่านค่า Absorbance โดยใช้ Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร หรือใช้ Filter Photometer พร้อมด้วย Red Color Filter ใช้ Reagent Blank เป็น Reference Solution

(2) การทำ Correction สำหรับสีหรือความขุ่น สีของน้ำธรรมชาติไม่ชัดเจนหาที่ Wavelength สูงซึ่งใช้อยู่ในกรณีที่น่าขุ่นหรือมีสีมาก ให้ทำ Blank โดยการเติมน้ำยาเคมีทุกอย่างยกเว้นกรด Ascorbic และ Potassium Antimonyl Tartrate ลงในตัวอย่าง หักค่า Absorbance ของ Blank จากค่า Absorbance ของตัวอย่างทุกอัน

(3) การเตรียม Calibration Curve เตรียมอนุกรมของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตในช่วงที่กำหนดไว้ในตาราง เช่น ถ้าใช้ Light Path 1 ซม. ก็ให้เตรียมความเข้มข้นของฟอสเฟตในช่วง 0.15-1.30 มก. ฟอสฟอรัส/ล. โดยเปิดสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต 62.5 มก.

ฟอสฟอรัส/มล. 0, 2, 6, 10, 24 มล. ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มล. เติมน้ำจนถึงขีดที่กำหนดบนขวด เขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายฟอสเฟตที่มีความเข้มข้น 0, 5, 15, 25, 40, 60 มกค. เป็นแบล็กพล็อตค่า Absorbance กับความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (เป็นไมโครกรัม) จะได้เป็นเส้นตรงผ่านจุดเริ่มต้น

การคำนวณ

$$\text{มก./ล.} = \text{มก. P} \times \frac{1,000}{\text{มล. ตัวอย่าง}}$$

ถ้าต้องการผลในรูปฟอสเฟตให้ใช้สูตร

$$\text{มก./ล. PO}_4^{3-} = \text{มก./ล. P} \times 3.06$$

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมาสิ่งแวดลอมแห่ง
ประเทศไทย (2545) *ตำร่าบ้ำบัดน้ำเสี่ยชุมชนโดยใช้บั้งประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้*
วิศวกรรมสิ่งแวดลอมแห่งประเทศไทย
- กลอยกาญจน์ เก้าเนตรสุวรรณ (2544) “การบ้ำบัดน้ำเสี่ยชุมชนโดยใช้บั้งประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้
ผิวดิน” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์
สภาวะแวดลอม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดลอม บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- จิตติมา เชื้อกุล (2545) “การบ้ำบัดน้ำเสี่ยโดยใช้ต้นพุทธรักษาในพื้นที่ชุมน้ำประดิษฐ์” วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนา
ทรัพยากรและสิ่งแวดลอม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล
- จิตติมา วสุลิน (2539) “การศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำในการบ้ำบัดน้ำเสี่ยจากแหล่งชุมชนและที่
พักอาศัยกรณีศึกษา : น้ำเสี่ยจากศูนย์ศาลาया” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหา
บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยมหิดล
- จันทนา สุขปรีดี และคณะ 2543 "รายงานการศึกษาวิจัยวิทยาศาสตร์ การก้ำจัดขยะและการ
บ้ำบัดน้ำเสี่ยตามแนวพระราชดำริ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดลอม แหลม
ฝักเบี่ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ" กรุงเทพมหานคร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ไพบุลย์ ประพุดิธรรม 2543 "รายงานการศึกษาวิจัยวิทยาศาสตร์ การก้ำจัดขยะและการ
บ้ำบัดน้ำเสี่ยตามแนวพระราชดำริ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดลอม แหลม
ฝักเบี่ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ" กรุงเทพมหานคร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2544) "การก้ำจัดในโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ" กรุงเทพมหานคร
สมาคมวิศวกรรมาสิ่งแวดลอมแห่งประเทศไทย
- ธวัชชัย วรพงศธร (2543) “การวิจัยเชิงปริมาณ” ใน *ประมวลสาระชุดวิชาสถิติและระเบียบวิธีวิจัย*
ในงานสาธารณสุข หน่วยที่ 4 หน้า 130 นนทบุรี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
บัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
- มันสิน ตันทุลเวศม์ (2542) *เทคโนโลยีบ้ำบัดน้ำเสี่ยอุตสาหกรรม เล่ม 1* กรุงเทพมหานคร
โรงพิมพ์ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- มูลนิธิชัยพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำนักงานคณะกรรมการแห่งชาติ สำนักงาน กปร. และ
กรมชลประทาน (2543) "รายงานการศึกษาวิจัยวิทยาศาสตร์ การกำจัดขยะและการ
บำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อม
ผักเป็ดอันเนื่องมาจากพระราชดำริ" กรุงเทพมหานคร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ลัดดา วงศ์รัตน์ (2524) *เพลงตอนวิทยาเบื้องต้น* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร
- ลัดดา วงศ์รัตน์ (2539) *เพลงก่ตอนพีช* คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- วนิดา ธนประโชชน์ศักดิ์ (2531) "ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของพีชน้ำกับสาร
อาหาร" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาพฤกษศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ศุภาศ กานตวนิชกูร (2544) "การกำจัดไนโตรเจนโดยระบบ Combined Constructed Wetland ใน
เขตอากาศร้อน" รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภาควิ
ชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ส.นภา (ประเทศไทย) (2545) *คู่มือสนามสำหรับการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย*
กรุงเทพมหานคร ส.นภา (ประเทศไทย)
- สุชาดา ศรีเพ็ญ (2530) *พรรณไม้น้ำ* กรุงเทพมหานคร ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สุวิธาน มนแพวงสานนท์ (2544) *วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS for Windows* กรุงเทพมหานคร
ซีเอ็ดยูเคชั่น
- Cornwell, DA., Zoltek, J. Jr., Patrinely, C.D., Furman, S. de.T. and Kim, F.J. (1977). "Nutrient
removal by waterhya-cinths." *Journal of the Water Pollution Control Federation*. 49,
57-65.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาววิรัตนา สุขเกษม
วัน เดือน ปีเกิด	25 ตุลาคม 2518
สถานที่เกิด	อำเภอสตึก จังหวัดชลบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. มหาวิทยาลัยรามคำแหง พ.ศ. 2540
สถานที่ทำงาน	บริษัท รามา ซูส์ อินดัสตรีส์ จำกัด อำเภอ เมือง จังหวัดชลบุรี
ตำแหน่ง	หัวหน้าแผนกสิ่งแวดล้อม