



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน ด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสียที่ปลูกพืชรากสั้น
ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

Efficiency of Nitrogen Treatment by Grass Filtration System with Short Root Plant
of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and
Development Project

นามผู้วิจัย นางสาววิไลลักษณ์ ไกรสมมาตร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ดังคนานุรักษ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์กณิดา ดังคนานุรักษ์, วท.ม.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน ด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสียที่ปลูกพืชรากสั้น ของโครงการ
ศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

Efficiency of Nitrogen Treatment by Grass Filtration System with Short Root Plant of The King's
Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project

โดย

นางสาววิไลลักษณ์ ไกรสมมาตร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2557

วិไลลักษณ์ ไกรสมมาตร 2557: ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน ด้วยระบบหมักกรอง
น้ำเสียที่ปลูกพืชรากสั้น ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอัน
เนื่องมาจากพระราชดำริ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์พนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์, Ph.D. 107 หน้า

น้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมามีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เป็นสาเหตุทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน ส่งผลให้คุณภาพของน้ำเสื่อมโทรม และก่อให้เกิดความเสียหายต่อสมดุลของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศของแหล่งน้ำ ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงทำการศึกษาถึงการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียโดยระบบหมักกรองน้ำเสียที่ปลูกพืชรากสั้น ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยศึกษาถึงประสิทธิภาพการปลดปล่อยของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน, ทีเคเอ็น และ อินทรีย์-ไนโตรเจน ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ฤดูกาล (ฤดูฝน และ ฤดูแล้ง) ชนิดของพืชรากสั้น (หญ้าสตาว์, หญ้าคาล่า และ หญ้าคึกชี) และระยะทางของน้ำเสียที่ไหลผ่านแปลงพืชแต่ละจุด (0, 25, 50, 75 และ 100 เมตร) ที่อาจจะส่งผลถึงประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน จากการศึกษาพบว่า ทั้งในฤดูฝน และ ฤดูแล้ง หญ้าสตาว์มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงที่สุด คือ ร้อยละ 82.14 และ 80.00 ของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ร้อยละ 60.00 และ 80.00 ของไนเตรต-ไนโตรเจน ร้อยละ 86.62 และ 83.46 ของทีเคเอ็น และร้อยละ 86.77 และ 83.57 ของอินทรีย์-ไนโตรเจน ตามลำดับ รองลงมาคือ หญ้าคาล่า และหญ้าคึกชี จากปัจจัยทั้งสามปัจจัยที่ทำการศึกษา พบว่า น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด มีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของคุณภาพน้ำทิ้ง จึงสรุปได้ว่าระบบหมักกรองน้ำเสียมีประสิทธิภาพเพียงพอในการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชน

Wilailak Kraisomsart 2014: Efficiency of Nitrogen Treatment by Grass Filtration System with Short Root Plant of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Associate Professor Nipon Tungkananuruk, Ph.D. 107 pages.

Discharge of wastewater containing nitrogen can cause eutrophication that can in turn result in deterioration of water quality and damage the balance of organisms present in aquatic ecosystems. Therefore, this research was to study of nitrogen treatment in wastewater by grass filtration system with short root plant of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project. The removal efficiency of ammonia-nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$), nitrate-nitrogen ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), total Kjeldahl nitrogen and organic nitrogen were determined. Affecting factors of the weather period (wet and dry period), type of short root plants (African Star grass, Kalla grass and Dixie grass) and the distance of wastewater which passed through the each plant plot (0, 25, 50, 75 and 100 m.) were determined to the nitrogen removal efficiency. It was found that for wet and dry period, African Star grass had the highest removal efficiency at 82.14 and 80.00 % ammonia-nitrogen 60.00 and 80.00 % nitrate-nitrogen 86.62 and 83.46 % total Kjeldahl nitrogen and 86.77 and 83.57 % organic nitrogen respectively followed by Kalla grass and Dixie grass. Treated water from three studied factors containing nitrogen met the effluent quality standards for nitrogen. It was concluded that grass filtration system had sufficient efficiency for removal of nitrogen containing in domestic wastewater.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ คณิดา ตั้งคณาภิรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำ และสละเวลาในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จลุล่วง
ไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์คณะสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและ
คำสั่งสอนแก่ผู้วิจัย เพื่อนำความรู้ต่างๆ ไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

ขอขอบพระคุณ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจาก
พระราชดำริ รวมถึงขอขอบพระคุณคณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อนุเคราะห์
สถานที่ วัสดุและอุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท คณะสิ่งแวดล้อม รุ่น 35 ที่ให้ความช่วยเหลือ
ทั้งกำลังใจและกำลังใจตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวไกรสมมาตร ที่คอยเป็น
กำลังใจในการศึกษาเล่าเรียน รวมทั้งได้เมตตา อบรม สั่งสอน และคอยให้ความรู้ ตลอดจน
สนับสนุนทุนการศึกษาจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วิไลลักษณ์ ไกรสมมาตร
พฤศจิกายน 2556

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	43
อุปกรณ์	43
วิธีการ	45
ผลและวิจารณ์	56
สรุปและข้อเสนอแนะ	71
สรุป	71
ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	73
ภาคผนวก	82
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	107

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะของน้ำเสียรวมจากแหล่งชุมชน	6
2	ปริมาณการใช้น้ำของครัวเรือนตัวอย่างในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี	7
3	ลักษณะน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีในช่วงเดือนเมษายน 2540 ถึง เดือน มีนาคม 2541	9
4	ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระที่มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำ	33
5	ระดับการปนเปื้อนไนเตรดในน้ำดื่มตามมาตรฐานขององค์กรต่างๆ	37
6	การเตรียมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ	48
7	ปริมาตรสารละลายมาตรฐานไนเตรด-ไนโตรเจนที่ใช้เตรียมสารละลาย มาตรฐานไนเตรด-ไนโตรเจนความเข้มข้น 5-50 มิลลิกรัมต่อลิตร	49
8	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้นของน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบบำบัด หยาบกรองน้ำเสียในฤดูฝนและฤดูแล้ง	60
9	ปริมาณไนโตรเจนของน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดหยาบกรองน้ำเสียใน ฤดูฝนและฤดูแล้ง	63
10	ร้อยละการบำบัดไนโตรเจนของน้ำเสียหลังผ่านระบบบำบัดหยาบกรองน้ำเสีย ของแปลงพืชแต่ละแปลงในฤดูฝนและฤดูแล้ง	64
11	ร้อยละการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ระยะทางต่างๆ กันที่น้ำไหลผ่านแปลง พืช	68
12	ปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนที่ระยะทางต่างๆ กันที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช	68
13	ร้อยละการบำบัดที่เคเอ็นที่ระยะทางต่างๆ กันที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช	69
14	ร้อยละการบำบัดอินทรีย์ไนโตรเจนที่ระยะทางต่างๆ กันที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช	69
 ตารางผนวกที่		
1	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนแปลงควบคุม ในช่วงฤดูฝน	83
2	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนแปลงหญ้าสด ในช่วงฤดูฝน	84
3	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนแปลงหญ้าคาล่าในช่วงฤดู ฝน	85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนแปลงหญ้าดีกซ์ ในช่วงฤดูฝน	86
5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนแปลงควบคุม ในช่วงฤดูแล้ง	87
6 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนแปลงหญ้าสตาร์ ในช่วงฤดูแล้ง	88
7 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน แปลงหญ้าคาล่า ในช่วงฤดูแล้ง	89
8 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน แปลงหญ้าดีกซ์ ในช่วงฤดูแล้ง	90
9 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน แปลงควบคุม ในช่วงฤดูฝน	91
10 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน แปลงหญ้าสตาร์ ในช่วงฤดูฝน	92
11 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน แปลงหญ้าคาล่า ในช่วงฤดูฝน	93
12 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน แปลงหญ้าดีกซ์ ในช่วงฤดูฝน	94
13 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน แปลงควบคุม ในช่วงฤดูแล้ง	95
14 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน แปลงหญ้าสตาร์ ในช่วงฤดูแล้ง	96
15 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน แปลงหญ้าคาล่า ในช่วงฤดูแล้ง	97
16 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน แปลงหญ้าดีกซ์ ในช่วงฤดูแล้ง	98
17 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เคเอ็นแปลงควบคุมในช่วงฤดูฝน	99
18 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เคเอ็นแปลงหญ้าสตาร์ ในช่วงฤดูฝน	100
19 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เคเอ็นแปลงหญ้าคาล่า ในช่วงฤดูฝน	101
20 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เคเอ็นแปลงหญ้าดีกซ์ ในช่วงฤดูฝน	102
21 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เคเอ็นแปลงควบคุม ในช่วงฤดูแล้ง	103
22 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เคเอ็นแปลงหญ้าสตาร์ ในช่วงฤดูแล้ง	104
23 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เคเอ็นแปลงหญ้าคาล่า ในช่วงฤดูแล้ง	105
24 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เคเอ็นแปลงหญ้าดีกซ์ ในช่วงฤดูแล้ง	106

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะรูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหุ้กรองน้ำเสีย	13
2	ลักษณะแปลงหุ้กรองน้ำเสียโดยระบบหุ้กรองน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ	21
3	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของหุ้กรองน้ำเสีย	23
4	ลักษณะแปลงหุ้กรองน้ำเสียโดยระบบหุ้กรองน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ	24
5	วัฏจักรไนโตรเจน	28
6	ความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละของแอมโมเนียกับความเป็นกรดต่าง	34
7	แปลงหุ้กรองน้ำเสีย หุ้กรองน้ำเสีย หุ้กรองน้ำเสีย และแปลงควบคุม	50
8	ลักษณะพื้นที่จุดเก็บน้ำตัวอย่างของระบบหุ้กรองน้ำเสีย	52
9	จุดเก็บน้ำตัวอย่างจากท่อพีวีซีทั้งหมด 15 จุด ในแต่ละแปลง	52
10	เครื่องมือวิเคราะห์ที่เคเอ็น	54
11	ขั้นตอนการเกิดชั้นต่างที่กันขุดเจาะหลัก	54
12	เครื่องกลั่นเพื่อกลั่นแยกแอมโมเนีย	55
13	ลักษณะรูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหุ้กรองน้ำเสีย	57
14	แปลงหุ้กรองน้ำเสียของพีชรากลิ่น หุ้กรองน้ำเสีย	57
15	แปลงหุ้กรองน้ำเสียของพีชรากลิ่น หุ้กรองน้ำเสีย	58
16	แปลงหุ้กรองน้ำเสียของพีชรากลิ่น หุ้กรองน้ำเสีย	58
17	แปลงหุ้กรองน้ำเสียของแปลงควบคุม	59
18	กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน	61
19	กราฟมาตรฐานไนเตรด-ไนโตรเจน	62
20	ชนิดพืชที่มีผลต่อการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน	65
21	ชนิดพืชที่มีผลต่อการบำบัดไนเตรด-ไนโตรเจน	66
22	ชนิดพืชที่มีผลต่อการบำบัดที่เคเอ็น	66
23	ชนิดพืชที่มีผลต่อการบำบัดอินทรีย์ไนโตรเจน	67

ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน ด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสียที่ปลูกพืชรากสั้น ของ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

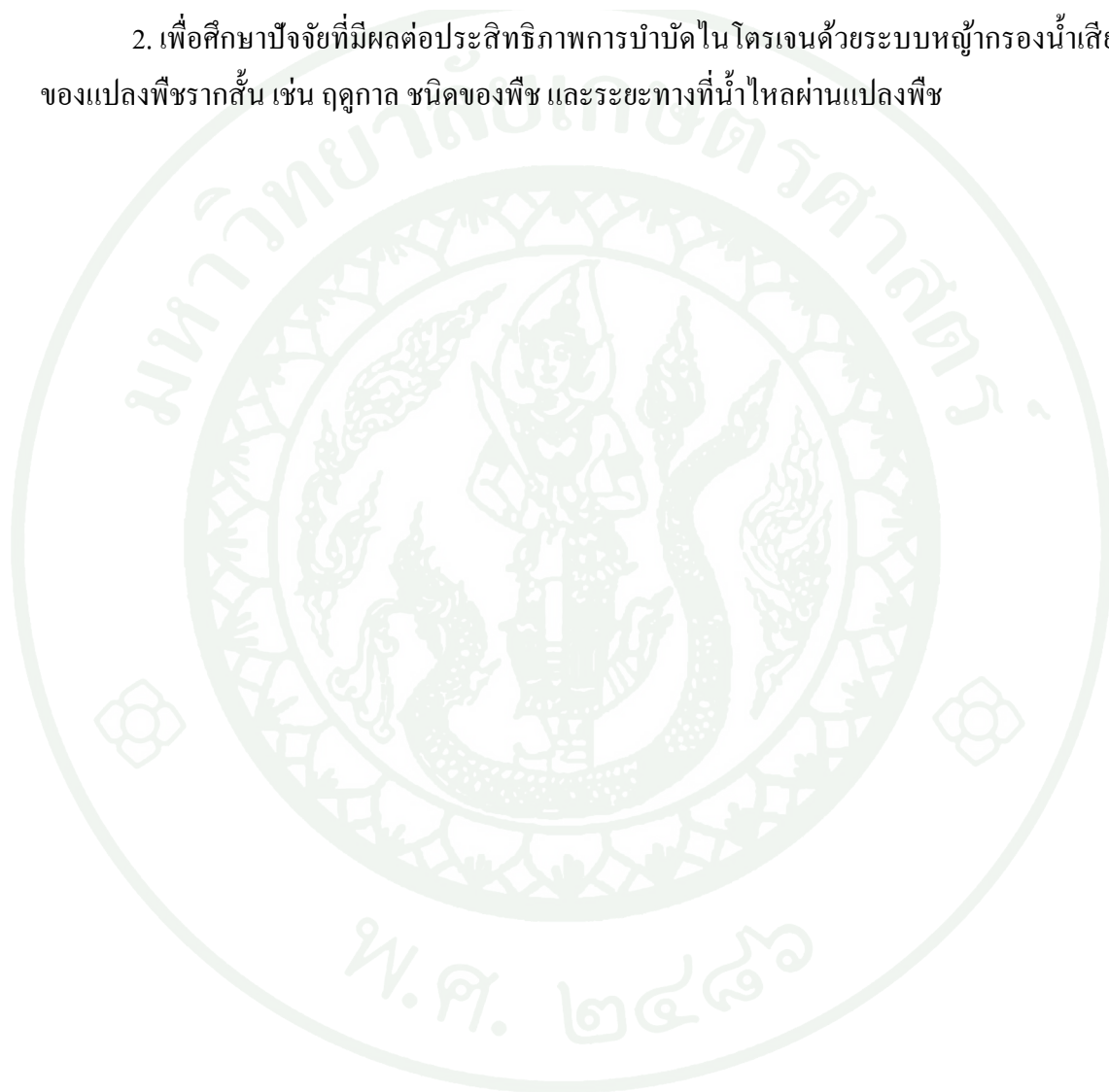
Efficiency of Nitrogen Treatment by Grass Filtration System with Short Root Plant of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project

คำนำ

น้ำเสียชุมชนจากเขตเทศบาลเมือง จังหวัดเพชรบุรี ถูกบำบัดด้วยวิธีหญ้ากรองน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ซึ่งเป็นโครงการศึกษาวิจัยในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้เทคโนโลยีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ให้ธรรมชาติช่วยธรรมชาติ ซึ่งเทคโนโลยีแปลงหญ้ากรองน้ำเสีย เป็นระบบบำบัดที่มีการเลียนแบบธรรมชาติในการบำบัด มีการใช้พืชพรรณที่มีการเจริญเติบโตในที่ๆ น้ำท่วมขังได้ และมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย เช่น หญ้าสตาร์ หญ้ากาลล่า หญ้าดึกชี เป็นต้น การบำบัดน้ำเสียอาศัยการกรองน้ำเสียขณะที่ไหลผ่านแปลงหญ้าและการปลดปล่อยแก๊สออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงให้กับน้ำเสียนั้น ร่วมกับการใช้ดินผสมทรายช่วยในการกรองน้ำเสีย และการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในดิน เพื่อให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการบำบัดไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสียนี้ จะมีกระบวนการที่เป็นไปตามวัฏจักรไนโตรเจน โดยสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่ปนเปื้อนมาในน้ำเสีย จะถูกย่อยสลายเป็นแอมโมเนีย ด้วยกระบวนการ แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) และแอมโมเนียถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรตด้วยกระบวนการ ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) โดยไนเตรตบางส่วนถูกใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนของพืช แต่ในสภาวะไร้ออกซิเจน ไนเตรตและไนไตรต์ถูกรีดิวซ์ให้เป็นแก๊สไนโตรเจนด้วยกระบวนการ ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ซึ่งถ้าภายในระบบหญ้ากรองน้ำเสียนั้นมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นไปตามวัฏจักรไนโตรเจนอย่างสมดุล ก็จะสามารถบำบัดของเสียไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะมีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน, ทีเคเอ็น และ อินทรีย์-ไนโตรเจน ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่กำหนด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในเตรค-ไนโตรเจนและทีเคเอ็น ด้วยระบบหุ้กรองน้ำเสียของแปลงพีชรากสั้น
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนด้วยระบบหุ้กรองน้ำเสียของแปลงพีชรากสั้น เช่น ฤดูกาล ชนิดของพืช และระยะทางที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช



การตรวจเอกสาร

1. น้ำเสีย

1.1 ความหมายของน้ำเสีย

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2535) ได้ให้ความหมายไว้ว่า “น้ำเสีย หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น” (สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2535)

น้ำเสีย หมายถึง ของเหลวหรือน้ำที่ผ่านการใช้มาแล้วจากบ้านเรือน การประกอบธุรกิจการค้า การทำงานในสถานที่ต่าง ๆ การเกษตร หรือ โรงงานอุตสาหกรรม น้ำเสียก็มีสิ่งสกปรกต่าง ๆ ปนเปื้อนมาทั้งในรูปแบบของสารแขวนลอยหรือละลายในน้ำ ซึ่งความสกปรกหรือความไม่น่าใช้จึงมีมากกว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งลักษณะน้ำเสียจะเป็นเช่นไรนั้นขึ้นอยู่กับ ชนิด จำนวนและรูปแบบของเสียในน้ำเสียนั้น ๆ (พัฒนา, 2539)

กรมควบคุมมลพิษและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ให้ความหมายกว้างๆ ที่แสดงถึงแหล่งกำเนิดน้ำเสียว่า “น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ไม่ต้องการหรือใช้แล้วระบายทิ้ง น้ำใช้แล้วจากชุมชนอาจประกอบด้วยสิ่งปะปนที่ติดมาจากกิจกรรมที่อยู่อาศัย ธุรกิจ โรงงาน อุตสาหกรรม และสถาบันต่างๆ รวมกับน้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน น้ำฝน”

1.2 ประเภทของน้ำเสีย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

แบ่งแหล่งกำเนิดน้ำเสียออกเป็น 3 แหล่ง คือ น้ำเสียชุมชน น้ำเสียจากกิจกรรมการเกษตร และน้ำเสียจากอุตสาหกรรม

1.2.1 น้ำเสียชุมชน หมายถึง น้ำที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ และระบายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งรองรับน้ำเสีย หรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ผ่านการบำบัดให้มีลักษณะดีขึ้น หรือสะอาดขึ้นก่อน ซึ่งทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมและเน่าเสียในที่สุด

1.2.2 น้ำเสียจากกิจกรรมการเกษตร หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการทำการเกษตร การเลี้ยงสัตว์ น้ำล้างคอกสุกร จากฟาร์มเลี้ยงกุ้ง โดยน้ำเสียจากกิจกรรมการเกษตร ส่วนใหญ่จะมีการปนเปื้อนของสารเคมีฆ่าแมลง และปุ๋ย

1.2.3 น้ำเสียจากอุตสาหกรรม หมายถึง น้ำเสียที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคลือบโลหะ อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมเครื่องหนัง เป็นต้น โดยที่น้ำจากอุตสาหกรรมนั้นส่วนใหญ่จะมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก สารพิษต่างๆ ที่ยากต่อการทำลาย

2. น้ำเสียชุมชน

2.1 ความหมายน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชน หมายถึง น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยขนาดต่างๆ โรงแรม ตลาด รวมทั้งสำนักงานและสถานที่ทำงานนานาชนิด น้ำเสียประเภทนี้เกิดจากกิจกรรมในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียอุตสาหกรรมแล้ว น้ำเสียชุมชนต่าง ๆ จะมีลักษณะไม่แตกต่างกันมาก ส่วนใหญ่ของเสียจะปนสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหารจากการล้างจานและภาชนะหรือการปรุงอาหาร รวมถึงสารต่างๆ ที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดเสื้อผ้า รถ บ้านเรือน ฯลฯ (กรมควบคุมมลพิษ, 2537) นอกจากนี้ Metcalf and Eddy (1991) กล่าวว่า น้ำเสียที่ปล่อยจากแหล่งที่พักอาศัย ย่านการค้า สถาบัน และส่วนอื่นๆ นี้มีลักษณะคล้ายกันนี้ อาจเรียกว่า Sanitary Wastewater

สุเทพ (2549) กล่าวถึงน้ำเสียชุมชนว่าเป็นน้ำเสียที่เกิดจากการทำกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันของประชาชนในชุมชน โดยมีแหล่งกำเนิดมาจาก อาคาร บ้านเรือน ร้านค้า ตลาดสด กัดดาการ ร้านอาหาร สถาบันการศึกษา สถานที่ราชการ โรงแรม โรงพยาบาลและห้างสรรพสินค้า เป็นต้น น้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่จะมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางธรรมชาติ

ขวัญฤดี (2548) กล่าวว่าแหล่งกำเนิดน้ำเสียชุมชน คือ น้ำที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ และระบายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งรองรับน้ำเสีย หรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ได้ผ่านการบำบัดให้มีลักษณะดีขึ้นหรือสะอาดก่อน ซึ่งทำให้แหล่งน้ำมีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมลงและเน่าเสียในที่สุด กิจกรรมที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ทำให้เกิดน้ำเสียชุมชน ได้แก่

2.1.1 บ้านพักอาศัย น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยนั้นเกิดจากเศษอาหารจากการล้างจาน และ ภาชนะหรือจากการปรุงอาหาร รวมถึงสารต่างๆ ที่เกิดจากการทำความสะอาดเสื้อผ้า สิ่งของต่างๆ ภายในบ้าน และการอาบน้ำ ซึ่งบ้านพักส่วนใหญ่จะมีอัตราการระบายน้ำเสียประมาณ 150-216 ลิตร ต่อคนต่อวัน หรือประมาณ 180 ลิตรต่อคนต่อวัน

2.1.2 กัดตาการ มีน้ำเสียที่เกิดจากห้องครัวและห้องส้วม โดยเฉพาะน้ำมันและไขมันจะมีปริมาณสูงในน้ำเสียจากห้องอาหารหรือกัดตาการ อันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการอุดตันในท่อระบายน้ำเสีย

2.1.3 โรงแรม มีน้ำเสียจากห้องน้ำและห้องส้วมจากห้องพัก และห้องครัว จากกัดตาการภายในโรงแรม อาคารสำนักงาน มีน้ำเสียจากห้องน้ำห้องส้วม

2.1.4 กิจกรรมอื่นๆ เช่น สถานบริการอาคารพาณิชย์ โรงเรียน อาคารชุด ตลาด สถานบริการจำหน่ายน้ำมัน เป็นต้น

2.2 ลักษณะน้ำเสียชุมชน

ในภาพรวมของคุณลักษณะน้ำเสียชุมชนนั้น อากรณ (2539) ได้กล่าวว่า น้ำเสียชุมชนมีสมบัติทางเคมีเป็นกลางมีค่าความเป็นกรดต่างไม่แตกต่างกันมากนัก สิ่งสกปรกในน้ำที่มีทั้งสารอินทรีย์ทั้งที่เป็นของแข็งและสารละลาย นอกจากนี้ยังมีเชื้อโรคและพยาธิปนอยู่ด้วย แต่สิ่งสกปรกที่สำคัญที่สุดได้แก่ สารอินทรีย์ซึ่งมีจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ สำหรับตัวอย่างลักษณะของน้ำเสียรวมจากแหล่งชุมชน เมื่อมีการระบายลงสู่ท่อน้ำเพื่อนำไปกำจัดที่ระบบบำบัดน้ำเสียของทางราชการและลักษณะของน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีนั้นแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะของน้ำเสี้ยวรวมจากแหล่งชุมชน

ลักษณะ	แหล่งชุมชนโดยทั่วไป (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เทศบาลเมืองเพชรบุรี (มิลลิกรัมต่อลิตร)
บีโอดี (BOD ₅)	100-300	165.4
สารแขวนลอย (Suspended Solids)	100-350	31.8
ไนโตรเจน (Total N)	20-80	27.8
ฟอสฟอรัส (PO ₄)	6-20	4.0
น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	50-150	-

ที่มา: ปรานี (2537) ; เกษม (2540)

สุเทพ (2531) กล่าวว่า ปริมาณน้ำเสียจากแหล่งชุมชน ย่อมมีความแตกต่างกันออกไปตามขนาดของชุมชน สภาพความเป็นอยู่และอุปนิสัยที่แตกต่างกัน โดยพบว่าในเขตชนบทอาจมีอัตราการใช้น้ำระหว่าง 10 – 40 ลิตรต่อวัน ขณะที่ในเมืองอาจมีการใช้น้ำสูงถึง 300 ลิตรต่อคนต่อวัน และน้ำเสียในเขตเมืองที่เป็นแหล่งท่องเที่ยว ตัวปัญหาหลักคือ โรงแรม ศูนย์การค้า และอาคารชุด ซึ่งมีปริมาณน้ำเสี้ยวรวมมากกว่าร้อยละ 50 ของปริมาณน้ำเสียทั้งหมดที่ชุมชนผลิตออกมา นอกจากนี้ยังมีภัตตาคาร ตลาดสด และโรงฆ่าสัตว์ ที่มีปริมาณน้อยแต่ค่าความสกปรก (BOD) มีความเข้มข้นสูงมากเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดปัญหาหลักเช่นกัน และจากการศึกษาของ ขนิษฐา (2538) พบว่า ปริมาณการใช้น้ำของครัวเรือนตัวอย่างในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี ปริมาณการใช้น้ำเท่ากับ 60.55 ลิตรต่อคนต่อวัน ดังตารางที่ 2 โดยร้อยละ 98.7 ของแหล่งน้ำอุปโภคของครัวเรือนเป็นน้ำประปา และน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการใช้น้ำร้อยละ 95.06 ถูกปล่อยลงสู่ท่อระบายน้ำทิ้งสาธารณะของเทศบาล

ตารางที่ 2 ปริมาณการใช้น้ำของครัวเรือนตัวอย่างในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี

กิจกรรม	ปริมาณน้ำที่ใช้ (ลิตร/คน/วัน)	ร้อยละ ของน้ำใช้	การจัดการน้ำเสีย
การอาบน้ำ	31.29	51.67	ปล่อยลงท่อระบายน้ำ
การซักผ้า	14.81	24.46	ปล่อยลงท่อระบายน้ำ
การทำความสะอาดบ้านเรือน	4.86	8.03	ปล่อยลงท่อระบายน้ำ
การล้างจานชามภาชนะ	6.60	10.90	ปล่อยลงท่อระบายน้ำ
การรดน้ำต้นไม้	2.99	4.94	ปล่อยให้ไหลไปตามพื้น
รวม	60.55	100.00	

ที่มา: ขนิษฐา (2538)

2.3 ลักษณะน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี

ลักษณะน้ำเสียชุมชนของเทศบาลเมืองเพชรบุรี มีคุณภาพน้ำบางประการ ดังแสดงในตารางที่ 3 ดังนี้

อุณหภูมิของน้ำ พบว่าจากการสำรวจคุณภาพน้ำในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีพบว่า อุณหภูมิของน้ำมีค่าเฉลี่ยตลอดปี 29.3 องศาเซลเซียส ในขณะที่บริเวณบ่อรวมน้ำเสียของเทศบาลมีค่า 31.4 องศาเซลเซียส

ความเป็นกรดเป็นด่าง จากการสำรวจคุณภาพน้ำในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำมีค่าเฉลี่ย 6.9 ซึ่งพบว่ามีค่าจัดอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ และจัดอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารในขณะที่บริเวณบ่อรวมน้ำเสียของเทศบาลมีค่า 6.8 ซึ่งไม่แตกต่างกันมากนัก

ความขุ่น จากการสำรวจพบว่า น้ำเสียของเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีมีค่าความขุ่นเฉลี่ย 178.8 เอ็นทียู ในขณะที่บ่อรวมน้ำเสียมีค่าความขุ่น 22 เอ็นทียู ซึ่งพบว่าคุณภาพน้ำในแต่ละช่วงเดือนอาจแตกต่างกันทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำฝนซึ่งพบว่าอาจทำให้ความขุ่นเจือจางลง

ของแข็งทั้งหมด จากการสำรวจพบว่าในน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 2,690 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับน้ำเสียที่บ่อบรรณน้ำเสียมีค่าของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 695 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเสียในเขตเทศบาลพบว่า มีค่าเฉลี่ยตลอดปี 1.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่น้ำเสียที่บ่อบรรณน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักคือเฉลี่ย 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

บีโอดีและซีโอดี จากการสำรวจพบว่า น้ำเสียในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีมีค่า บีโอดีเฉลี่ย 555.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่บริเวณบ่อบรรณน้ำเสียของเทศบาลมีค่า 55.1 มิลลิกรัมต่อลิตร การที่ค่าบีโอดีมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากลงมาก ระหว่างการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่บริเวณจุดเก็บในเขตเทศบาลกับที่บ่อบรรณน้ำเสีย เนื่องจากในเขตเทศบาลนั้นน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดจะถูกลำเลียงมาสู่ระบบบำบัดโดยอาศัยท่อระบายน้ำเสียรวม ซึ่งท่อระบายน้ำเสียรวมนี้จะรวมน้ำฝนเข้าไปด้วยทำให้ค่าบีโอดีที่แหล่งกำเนิดมีค่าสูงกว่าเมื่อถูกลำเลียงมายังบ่อบรรณน้ำเสียและพบว่าค่าบีโอดีค่อนข้างมีความผันแปร ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาด้วย และค่าซีโอดีของน้ำเสียในเขตเทศบาลมีค่าเฉลี่ย 1,120.3 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับค่าซีโอดีในน้ำเสียที่บ่อบรรณน้ำเสียมีค่า 161.4 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจน ในเขตเทศบาลมีค่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่เมื่อน้ำเสียถูกลำเลียงมายังบ่อบรรณน้ำเสียจะมีค่าลดลงเหลือ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าไม่เกินจากที่มาตรฐานกำหนดไว้ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ธรรพร, 2541) และเมื่อเทียบกับปริมาณที่ตรวจพบการปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชนจากแหล่งอื่นพบว่า อยู่ในระดับที่เจือจาง

ตารางที่ 3 ลักษณะน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ในช่วงเดือนเมษายน 2540 ถึง เดือนมีนาคม 2541

ลักษณะน้ำเสีย	ค่าเฉลี่ย		หมายเหตุ
	ในเขตเทศบาล	ในปอรรบรวมน้ำเสีย	
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29.3	31.4	
ความเป็นกรด-ด่าง	6.9	6.8	
ความขุ่น (เอ็นทียู)	178.8	22	
ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.3	1.2	
ค่าซีโอดีในน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1120.3	161.4	
ปริมาณของเสียในรูป บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	555.1	55.1	
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	2690	695	
ปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.3	0.1	
ปริมาณฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	11.32	4.05	

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2541)

2.4 ผลกระทบของน้ำเสียชุมชนต่อสิ่งแวดล้อม

เกษม (2541) ได้สรุปผลกระทบจากความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำไว้ดังนี้

2.4.1 การประมง น้ำเสียชุมชนทำให้สัตว์น้ำต่างๆ เช่น ปลา กุ้ง หอย ตายหรือค่อยๆ ลดลง เพราะขาดแก๊สออกซิเจนหรือการลดน้อยถอยลงของออกซิเจนตามลำดับ เพราะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการหายใจย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ ส่งผลทำให้ขาดออกซิเจน และไม่

สามารถดำรงชีวิตและแพร่พันธุ์ได้ตามธรรมชาติ ส่วนน้ำเสียที่เกิดจากสารเป็นพิษ เช่น สารกำจัดแมลงศัตรูพืชและวัชพืช พบในบริเวณสวนผักและสวนผลไม้ อาจทำให้ปลาตายได้ทันที แต่ก็อาจทำลายสัตว์น้ำเล็กๆ และพืชที่เป็นอาหารของปลาและตัวอ่อนทำให้ปลาขาดอาหาร ในที่สุดปลาก็จะลดจำนวนลงก่อให้เกิดผลเสียหายต่อการประมงยิ่งขึ้น ปริมาณแก๊สออกซิเจน ที่ละลายในน้ำถ้าหากลดลงมากๆ ในทันทีก็อาจทำให้ปลาตายได้ นอกจากนี้ น้ำเสียยังทำลายแหล่งเพาะวางไข่ของปลา เนื่องจากการตกตะกอนของสารแขวนลอยในน้ำเสียปกคลุมพื้นที่การวางไข่ของปลา ซึ่งเป็นการหยุดยั้งการแพร่พันธุ์ของสัตว์น้ำได้โดยทางอ้อม น้ำเสียที่ทำให้สภาพตามธรรมชาติของแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงไป เช่น ความร้อนจากน้ำทิ้งใช้ระบบหล่อเย็น (Cooling Water) จากโรงงานอุตสาหกรรมทำให้อุณหภูมิปกติของแหล่งน้ำเพิ่มขึ้นจนปลาไม่อาจอยู่ได้และไม่อาจแพร่พันธุ์ตามธรรมชาติ น้ำมันที่ทิ้งลงสู่แหล่งน้ำโดยการรั่วไหลจากเรือจะไปปกคลุมผิวน้ำ เพราะปกติน้ำมันจะไม่รวมตัวกับน้ำเพราะมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ทำให้การเติมออกซิเจน จากอากาศบนผิวน้ำตามธรรมชาติเป็นไปได้ยาก ซึ่งเป็นการขัดขวางการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายตามธรรมชาติ

2.4.2 การสาธารณสุข น้ำเสียเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน เพราะมักก่อให้เกิดโรคระบาด เช่น อหิวาตกโรค ไข้ไทฟอยด์ โรคบิด เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดโรคซึ่งไม่ใช่โรคที่เกิดจากเชื้อโรคเป็นต้นว่า ส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีมลสารที่เป็นพิษเจือปน สารเป็นพิษเหล่านี้ทำให้เกิดโรคทำลายสุขภาพอนามัยของประชาชนทั้งโดยตรงและโดยอ้อม เช่น โรคมินามาตะ เกิดจากคนรับประทานปลาที่มีสารปรอทสูง เป็นต้น

2.4.3 การผลิตน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค น้ำเสียกระทบต่อการผลิตน้ำดื่มเพราะแหล่งสำหรับผลิตประปาส่วนใหญ่ ได้แก่ แม่น้ำ ลำคลอง เมื่อแหล่งน้ำเกิดเน่าเสีย คุณภาพน้ำลดลง ค่าใช้จ่ายในขบวนการผลิตเพื่อให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเข้าเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มก็ต้องเพิ่มขึ้น เมื่อแหล่งน้ำเสียเพิ่มขึ้น การเลือกแหล่งน้ำเพื่อการประปาก็ยิ่งยากขึ้นและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้น

2.4.4 การเกษตรกรรม น้ำเสียที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อการเกษตรที่เกี่ยวกับการผลิตพืชส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียที่มีความเค็มและมีโซเดียมสูง มีความเป็นกรด-ด่างสูง มีปริมาณเกลืออนินทรีย์สูงหรือสารเป็นพิษปะปนอยู่ แต่ถ้ามองการเกษตรที่เกี่ยวกับการเลี้ยงสัตว์มักเกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนของสิ่งขับถ่ายของสัตว์ทั้งอุจจาระและปัสสาวะซึ่งมีโอกาสปนเปื้อนแหล่งน้ำในประเทศเรามากที่สุด เพราะการเลี้ยงสัตว์แบบธุรกิจมักเลี้ยงใกล้แม่น้ำเนื่องมาจากต้องใช้น้ำมาก

2.4.5 ความสวยงามและการพักผ่อนหย่อนใจ แม่น้ำลำธาร แหล่งน้ำอื่นๆ ที่สะอาด เป็นความสวยงามตามธรรมชาติ ผู้คนใช้เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ ในการว่ายน้ำ ตกปลา เล่นเรือและอื่นๆ ถ้าหากแหล่งน้ำเหล่านี้เกิดการเน่าเสียหรือปล่อยให้มีขยะลอยอยู่ เช่น กล่องโฟมถุงพลาสติก เป็นต้น ก็ไม่เหมาะสมต่อการใช้เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ และยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพจิตและสุขอนามัยของประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณแหล่งน้ำเน่าเสียอีกด้วย

3. การบำบัดน้ำเสียของชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึงการดำเนินการเปลี่ยนแปลงสภาพของเสียในน้ำเสียให้อยู่ในสภาพที่มีความเหมาะสมที่จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อแหล่งรองรับน้ำเสียนั้นๆ ซึ่งโดยปกติแล้วในธรรมชาติจะสามารถปรับสภาพน้ำเสียได้ ถ้าปริมาณและความสกปรกของน้ำเสียไม่มากจนเกินไป แต่ในปัจจุบันการเพิ่มจำนวนประชากรทำให้มีปริมาณน้ำทิ้งเพิ่มมากขึ้นจึงเป็นสาเหตุให้น้ำเน่าเสียเพิ่มขึ้น รวมถึงประเภทของกิจการอุตสาหกรรมที่มากขึ้นจึงยังเป็นการเพิ่มทั้งปริมาณและความสกปรกของน้ำ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องทำให้เกิดประสิทธิภาพดีพอที่จะไม่ทำให้แหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคเกิดปัญหามลพิษจนทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนแหล่งน้ำสะอาด (พัฒนา, 2539)

3.1 พื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

พื้นที่โครงการตั้งอยู่ที่ บ้านพะเนิน ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ห่างจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี ประมาณ 22 กิโลเมตร มีพื้นที่ประมาณ 1,135 ไร่ ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนจะประกอบด้วยสถานีสูบน้ำและรวบรวมน้ำเสียบ้านคลองยางตั้งอยู่ที่บ้านคลองยาง ตำบลช่องสะแก อำเภอมือง จังหวัดเพชรบุรี น้ำเสียจากบ่อรวมจะถูกส่งไปบำบัดที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยฯ ตำบลบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี เป็นระยะทาง 18.5 กิโลเมตร โดยท่อ HDPE (High Density Polyethylene) (โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2551)

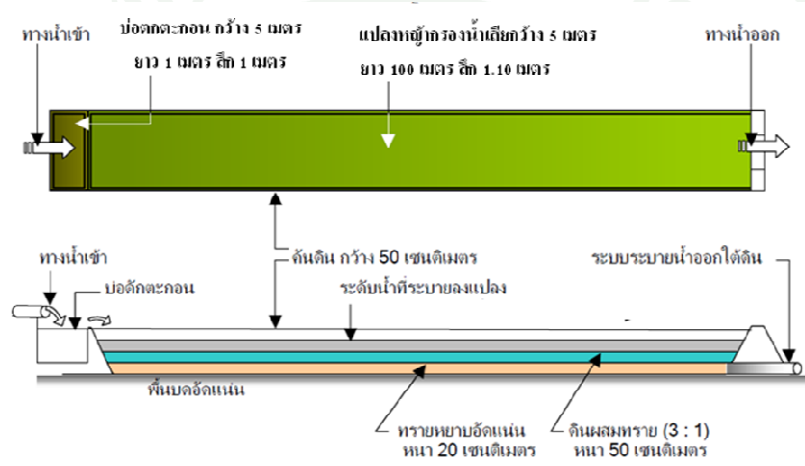
3.2 การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรองน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรองน้ำเสีย (Grass Filtration) เป็นการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพและชีวภาพ เป็นเทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียวิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีอย่างง่าย ประหยัด มีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน อาศัยกระบวนการทางธรรมชาติในการบำบัด ซึ่งเป็นลักษณะการก่อสร้างดัดแปลงพื้นที่บำบัดน้ำเสียให้เป็นระบบพื้นที่ลุ่มชื้นแฉะ และนาระบบนิเวศดินนาข้าวมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีหญ้ากรองน้ำเสีย โดยปล่อยให้น้ำเสียไหลผ่านพื้นที่แปลงที่มีความลาดเอียงที่ทำการปลูกพืชหรือหญ้า ซึ่งน้ำเสียจะไหลผ่านผิวดินและต้นหญ้าหรือพืชจนกระทั่งไหลผ่านจากแปลง ในระหว่างที่น้ำเสียไหลผ่านแปลงจะเกิดกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางธรรมชาติ ซึ่งน้ำเสียจะได้รับการบำบัดให้มีคุณภาพดีขึ้น โดยการให้น้ำเสียผ่านแปลงในลักษณะเลื่อนไหลไปในแนวระดับ น้ำเสียจะได้รับการบำบัดทั้งในแนวระดับและในแนวดิ่ง เนื่องจากน้ำเสียจะมีการซึมลงสู่ชั้นใต้ดิน โดยผ่านการกรองและบำบัดของระบบดิน จุลินทรีย์ และพืช ซึ่งองค์ประกอบทั้ง 3 จะทำหน้าที่ร่วมกัน โดยอาศัยกลไกทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในการบำบัด และให้ระบายน้ำเสียในลักษณะการขังน้ำสลับแห้ง (Flooding and Drying) หรือกล่าวได้ว่า ในการบำบัดน้ำเสียจะทำการขังน้ำสลับกับการปล่อยให้พื้นที่แปลงบำบัดแห้ง

3.2.1 โครงสร้างและลักษณะการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรองน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรองน้ำเสีย เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยนำหลักการบำบัดน้ำเสียของระบบพื้นที่ลุ่มชื้นแฉะมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการปลูกพืชหรือหญ้า โดยโครงสร้างของพื้นที่แปลงบำบัดน้ำเสียที่สร้างเลียนแบบธรรมชาติ ซึ่งลักษณะแปลงหญ้ากรองน้ำเสียจะมีขนาดพื้นที่ 5X100 ตารางเมตร สร้างคันนาดิน (Berm) สูงประมาณ 1 เมตร พื้นดินเป็นดินอัดแน่น ปรับพื้นที่ให้มีความลาดชัน 1:1000 และรองพื้นด้วยทรายหยาบสูง 20 เซนติเมตรเสมอกันทั้งแปลง และปรับให้พื้นทรายด้านบนมีความลาดชัน 1:1000 เพื่อให้ น้ำไหลในอัตราที่เหมาะสม ดินที่ใช้ส่วนบนเป็นดินผสม ซึ่งเป็นสัดส่วน ดิน:ทราย 3:1 และมีความหนา 50 เซนติเมตรเท่ากันทั้งแปลง ซึ่งเป็นสัดส่วนที่เหมาะสม เนื่องจากทำให้การยึดเกาะและการเจริญเติบโตของหญ้าและการเจริญของจุลินทรีย์ในดินอยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสีย (สิทธิชัย, 2538) ดังภาพที่ 1 ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสียนี้ จะทำการปล่อยน้ำเสียไหลเข้าแปลงทดลอง น้ำเสียจะเลื่อนไหลไปตามระยะทางในแนวระดับของพื้นที่แปลงที่มีความลาดเอียง นอกจากนี้ น้ำเสียจะเลื่อนไหลในแนวดิ่ง โดยผ่านรากหญ้าและชั้นดิน ซึมลงสู่ชั้นทรายและไหลไปตามชั้นทราย ในขั้นตอนนี้ น้ำเสียจะได้รับการบำบัดทั้งในแนวดิ่งและในแนวระดับ ทั้งการเพิ่มออกซิเจนจากพืชและ

บรรยากาศและกระบวนการบำบัดต่างๆ ทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพที่อาศัยตัวกลางคือ จุลินทรีย์ ดิน และหญ้า โดยรากหญ้าและดินทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวกรองน้ำเสีย รากหญ้ายังทำหน้าที่ดูดซึมสารปนเปื้อนในน้ำเสียและเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ที่เป็นตัวบำบัดน้ำเสียอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีการนำหลักการของระบบนิเวศดินนามาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้หลักการที่ให้พื้นที่แปลงมีน้ำขังสลับการระบายน้ำออกจากแปลงให้แห้ง ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และชีววิทยา ทำให้มีผลต่อการดูดซึมธาตุอาหารและโลหะหนักชนิดต่างๆ โดยหญ้า (สุรัสวดี, 2542)



ภาพที่ 1 ลักษณะรูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2551)

3.2.2 กลไกการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรองน้ำเสีย

กลไกการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรองน้ำเสียจะอาศัยกระบวนการกรองตามธรรมชาติ การตกตะกอน และกระบวนการต่างๆ ทั้งกายภาพ เคมี และชีวภาพ เพื่อลดสารปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสีย ซึ่งวิธีหญ้ากรองน้ำเสียจะอาศัยกลไกการบำบัด 2 ประการ คือ การนำหลักการของระบบนิเวศดินนาโดยการระบายน้ำเสียแบบการขังน้ำสลับแห้งมาประยุกต์ใช้และใช้พื้นที่ลุ่มชื้นแฉะดัดแปลงร่วมกับการปลูกพืชเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรอง รวมถึงการขังน้ำตลอดเวลา (ไหลอย่างต่อเนื่อง) ซึ่งต้องอาศัยตัวกลางที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสียได้แก่ ดิน พืช หรือหญ้า และจุลินทรีย์

1) หลักการบำบัดน้ำเสียของระบบระบายน้ำเสียแบบไหลสลับแห้งและไหลต่อเนื่อง

หลักการบำบัดน้ำเสียของระบบหยั่งกรองแบบไหลสลับแห้ง (Wet and Dry spell) และไหลต่อเนื่อง (Continuous flow) ที่ใช้เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสีย ได้ใช้หลักการของระบบ Flooding and Drying System ซึ่งมีลักษณะการระบายน้ำแบบขังน้ำสลับแห้ง โดยจะยึดหลักของระบบนิเวศดินนํามาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวภาพ ทั้งขณะการระบายน้ำออกเพื่อปล่อยให้ดินแห้งซึ่งจะเป็นสภาพที่มีออกซิเจน (เฉพาะระบบไหลสลับแห้ง) และขณะการปล่อยน้ำเข้าแปลงและขังน้ำไว้จะทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนและเกิดสภาวะรีดักชัน (Reduction) โดยจะมีผลดี และผลเสียต่อระบบนิเวศเมื่อดินมีการขังน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของดินและปัจจัยที่ควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์ เมื่อมีการขังน้ำและระบายน้ำออกปล่อยให้ดินแห้งบางส่วน (สิทธิชัย, 2538) ซึ่งหลักการขังน้ำที่กล่าวมานี้สามารถใช้เป็นหลักการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหยั่งกรองได้ดังนี้

(1) การเกิดสภาพที่ไร้ออกซิเจน

ดินขณะที่มีการขังน้ำจะเกิดการลดลงของออกซิเจนทำให้ไม่มีออกซิเจนในดิน โดยน้ำที่ขังอยู่บริเวณหน้าดินจะป้องกันออกซิเจนจากบรรยากาศไม่ให้ซึมผ่านลงไปในดินได้ ทั้งนี้เนื่องจากการแพร่กระจายของโมเลกุลออกซิเจนผ่านน้ำจะช้ากว่าในอากาศมากกว่า 10,000 เท่า จากนั้นดินจะอยู่ในสภาพที่ไร้ออกซิเจน และออกซิเจนที่ถูกกักไว้ตามช่องดินที่ถูกน้ำท่วมขัง จะถูกจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน (Aerobic Microorganism) และจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในสภาพที่มีหรือไม่มีออกซิเจนก็ได้ (Facultative Microorganism) นํามาใช้เพื่อการหายใจจนหมดไปอย่างรวดเร็ว จากนั้นจะเกิดการเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สอื่นๆ ในดินโดยการสะสมจะค่อยๆ เพิ่มความกดดันจนเกิดเป็นฟองสูญหายไปจากดินได้ องค์ประกอบของแก๊สที่เปลี่ยนแปลงไปในดินที่ขังน้ำจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางจุลเคมีและชีวภาพของระบบ (ไพบุลย์, 2528)

(2) การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกี่ยวข้องในระบบบำบัด

ในช่วงที่มีน้ำท่วมขังจะทำให้เกิดออกซิเจนหมดไป เนื่องจากถูกจุลินทรีย์ชนิดที่ต้องการออกซิเจนใช้ไปอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจุลินทรีย์ดังกล่าวจะหยุดกิจกรรมและชะงักการเจริญเติบโต ส่วนจุลินทรีย์ที่อยู่ได้ทั้งที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน และจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ

ออกซิเจนจะสามารถมีกิจกรรมต่อไปได้ โดยใช้สารประกอบต่างๆ ในดินซึ่งระดับออกซิเดชันสูงเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งได้มาจากอินทรีย์วัตถุ ก่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันต่างๆ สารประกอบอินทรีย์ที่มีความสามารถในการเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในดินนั้น ได้แก่ ไนเตรต (NO_3^-) ไออออนแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) เพอริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ไออออน และสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งได้มาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆ ตามลำดับทาง Thermodynamic และสมการต่างๆ ของปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี โดยที่เคมีพลศาสตร์ของการเกิดรีดักชัน ชนิด ตลอดจนปริมาณของสารที่ได้จากการเกิดรีดักชันขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้ง 5 ประการ ได้แก่ ธรรมชาติและปริมาณอาหารของจุลินทรีย์ (อินทรีย์วัตถุ) หรือตัวให้อิเล็กตรอน อุณหภูมิ พีเอช ปริมาณและชนิดของตัวรับอิเล็กตรอน และระยะเวลาที่มีน้ำแช่ขัง

กรณีที่มีอินทรีย์วัตถุที่สามารถถูกใช้ได้ทันที และอยู่ในสภาวะอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส พีเอชเป็นกลาง และมีตัวรับอิเล็กตรอนที่มีความสามารถสูงไม่มาก หรือไม่มีเลย การเกิดรีดักชันจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและได้สารประกอบซึ่งมีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนสูง ในขณะที่ดินขังน้ำ อนุมูลไนเตรตจะเป็นอนุมูลตัวแรกที่ทำหน้าที่ต่อจากออกซิเจน และชะลอการเกิดรีดักชัน (Ponnamperuma, 1995) ซึ่งเมื่อไนเตรตถูกใช้หมดไป อนุมูลเฟอร์รัส (Fe^{2+}) อนุมูลแมงกานีส (Mn^{2+}) และสารประกอบอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดซ์ได้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

(3) การประยุกต์การเปลี่ยนแปลงของดินนาขังน้ำเพื่อใช้ในระบบบำบัด

ในสภาวะที่ดินถูกน้ำขังจะทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนในดิน ทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนไปโดยการลดลงของค่า Redox Potential (Eh) ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน และเมื่อมีการระบายน้ำทิ้งออกให้ดินแห้ง หรือการไม่มีน้ำขังทำให้ดินมีการถ่ายเทอากาศดี และเกิดสภาวะออกซิเดชัน ดังนั้นการระบายน้ำแบบขังสลับแห้ง จะทำให้เกิดสภาวะรีดักชันและสภาวะออกซิเดชันสลับกัน ซึ่งจะสามารถบำบัดน้ำเสียจากชุมชนได้โดยลดปริมาณของ BOD และเป็นที่ดูดซึมโลหะหนักต่างๆ จากน้ำเสียได้โดยร่วมกับพืชบางชนิดที่เติบโตได้ดีในสภาพน้ำขัง เช่น กกกลม หล้าคาล่า เป็นต้น และระบายน้ำออกให้ดินแห้งสลับกัน ทั้งนี้เนื่องจากการแปรสภาพสารอินทรีย์ในโตรเจนในดินที่มีน้ำขังไปเป็นแอมโมเนียซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เพราะการขาดออกซิเจนจะทำให้เกิด ดีไนทริฟิเคชัน (ไพบูลย์, 2528) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Mitsui (1995) พบว่าการตากดินให้แห้งก่อนขังน้ำจะทำให้การปลดปล่อยแอมโมเนียสูงกว่าดินที่ขังน้ำอย่างเดียวยิ่ง 2 เท่า รวมทั้งการที่ค่าพีเอชสูงถึง 8.5 จะเร่งการผลิตแอมโมเนียทั้งนี้เนื่องจาก

การจัดการดินก่อนการขังน้ำจะทำให้เกิดการส่งเสริมการเกิด Ammonification โดยชีวมวลที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากคอลลอยด์ดิน (Harada *et al.* 1995) นอกจากนี้ระบบการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ดินในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโลหะหนักและธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในน้ำเสีย โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีปริมาณโลหะหนักและธาตุอาหารพืชที่ลดลง โดยธาตุอาหารพืชที่ลดลงนั้นจะพบการสะสมอยู่ในดินและพืช ส่วนโลหะหนักจะพบสะสมอยู่ในเฉพาะพืช (ปกรณ, 2540) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kadlac (1962) ที่พบว่าในช่วงน้ำแห้งจะก่อให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารต่างๆ ที่วิกฤติ ในขณะที่ธาตุอาหารเหล่านั้นจะไม่เป็นประโยชน์กับพืชเลยภายใต้สภาวะน้ำท่วมขังอย่างถาวร และอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน การที่น้ำท่วมขังสลับแห้งจะเหมาะสมกับพืชบางชนิด นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของประชากรจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตอื่นด้วย ส่วนการให้น้ำขังอย่างเดียว (ระบบไหลต่อเนื่อง) ก็สามารถให้การบำบัดได้ด้วยหลักการการเกิดสภาพไร้อากาศ จากการศึกษาของ เพ็ญพูน (2528) พบว่าดินที่มีน้ำขังจะมีเสถียรภาพ ทำให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งจากผลการศึกษาต่างๆ จะเห็นว่าลักษณะการบำบัดน้ำเสียที่ใช้หลักการขังน้ำสลับการแห้งน้ำในพื้นที่บำบัดหรือขังน้ำเพียงอย่างเดียว สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงพิจารณานำมาใช้บำบัดน้ำเสียโดยวิธีห้วยกรอง

(4) การใช้พืชร่วมกับพื้นที่ลุ่มและดัดแปลงเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีห้วยกรองน้ำเสียนั้น จะเป็นการเลียนแบบลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ ของระบบนิเวศพื้นที่ลุ่มและที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นหน่วยบำบัดน้ำเสียธรรมชาติ ซึ่ง William and Patrick (1994) ได้กล่าวว่าในระบบพื้นที่ลุ่มและจะมีความสมดุลของมวลภายในระบบ โดยจะมีการสะสม การเปลี่ยนรูป และการหมุนเวียนธาตุอาหารและสารต่างๆ อย่างสมดุล ดังนั้นระบบห้วยกรองน้ำเสียจึงมีสมดุลมวลสาร และความสมดุลของระบบพื้นที่ลุ่มและนั้น เกิดจากกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน การแลกเปลี่ยนไอออน การดูดซับ การตกตะกอน การกรอง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน การดูดซึมธาตุอาหาร เป็นต้น ซึ่งกระบวนการต่างๆ เหล่านี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปหรือบำบัดสารพิษและสารปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำเสีย ให้ลดลงหรือให้อยู่ในรูปที่ปลอดภัยต่อแหล่งน้ำ

พืชเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีส่วนช่วยในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้หลักการของระบบนิเวศพื้นที่ลุ่มและ โดยพืชจะทำหน้าที่บำบัดน้ำเสียร่วมกับจุลินทรีย์และดิน ดังนั้นในระบบห้วยกรองน้ำเสีย จึงจะใช้หญ้าเป็นตัวบำบัด ซึ่งจะมีระบบรากเป็นกลไกหนึ่งที่สำคัญในการ

ขจัดแร่ธาตุอาหารและสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยระบบรากพืชหรือหญ้าจะดูดซึมธาตุอาหาร และ สารปนเปื้อนต่างๆ ในรูปไอออน เพื่อนำมาใช้ในการสังเคราะห์แสงให้เป็นสารอินทรีย์ใช้ในการ เจริญเติบโต ระบบรากยังทำหน้าที่เป็นที่เกาะของจุลินทรีย์บางชนิดที่ช่วยในการย่อยสลายสารต่างๆ ในดิน เช่น การกำจัดไนโตรเจน จะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน ซึ่ง ในไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของไนเตรต โดยแบคทีเรียชนิด Nitrifying Bacteria ในสภาพที่มีออกซิเจน และไนโตรเจนในรูปไนเตรตจะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สไนโตรเจน โดย แบคทีเรียชนิด Denitrifying Bacteria ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ไนเตรตที่เกิดขึ้นรากพืชจะถูกนำไปใช้ ประโยชน์ต่อไป (ทัศนีย์, 2534) นอกจากนี้ระบบรากยังช่วยในการขนถ่ายแก๊สออกซิเจนจากส่วน ยอดไปยังราก และเคลื่อนย้ายแก๊สออกซิเจนจากรากไปยังยอดพืช ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการ บำบัดให้ดียิ่งขึ้น

จึงกล่าวได้ว่าพืชมีโครงสร้างและหน้าที่ที่เหมาะสมและมีความสามารถในการนำมาใช้เป็นตัวกลไกหนึ่งที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสียในพื้นที่ลุ่มชื้นแฉะ และมีบทบาทที่สำคัญ ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การใช้ประโยชน์จากพืชเพื่อการบำบัดน้ำเสีย ก็มีข้อจำกัด ซึ่งจะต้องเลือกชนิดของพืชให้มีความเหมาะสมที่สุด เพราะพืชแต่ละชนิดมีลักษณะที่ ไม่เหมือนกัน โคนสามารถสรุปคุณสมบัติของพืชที่เหมาะสมในการนำมาใช้บำบัดน้ำเสียดังนี้

- (1) มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง
- (2) มีความสามารถในการดูดซึมและเก็บสะสมสารต่าง ๆ ได้
- (3) มีความสามารถในการส่งผ่านออกซิเจนได้สูง โดยจะนำเอาออกซิเจน จากบรรยากาศส่งผ่านมาตามใบ ลำต้น และราก เช่น รุปรฤาษี กก และแฝก เป็นต้น
- (4) มีความทนทานต่อโรคและแมลงได้ดี
- (5) ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารมลพิษได้กว้าง
- (6) สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ในท้องถิ่นนั้นๆ นอกจากนี้ยังต้อง สามารถปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

(7) สามารถนำออกจากระบบได้ง่าย เนื่องจากการที่พืชจะลดปริมาณสารที่มีอยู่ในน้ำเสียให้ได้ผลดีที่สุดนั้น จะต้องมีการนำพืชออกจากระบบบ้างเพื่อไม่ให้พืชมีความหนาแน่นเกินไปจนไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัด

4. การนำพืชอาหารสัตว์มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรอง

สಾಯน์ห์ (2540) ให้ความหมายของพืชอาหารสัตว์ (Forage crops) ไว้ว่าหมายถึง พืชชนิดใดก็ได้ที่สัตว์สามารถใช้เป็นอาหารได้โดยไม่เป็นพิษต่อสัตว์ ส่วนใหญ่มาจากพืชตระกูลหญ้าและพืชตระกูลถั่ว

4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของหญ้าอาหารสัตว์

4.1.1 ราก (Roots) หญ้ามีรากเป็นระบบรากฝอย (Fibrous Root System) ประกอบด้วยรากขนาดเล็กเท่าๆ กันมากมาย เกิดที่บริเวณข้อของลำต้นที่อยู่ใต้ดินหรือใกล้ผิวดิน มีการสานกันแน่นเป็นแผ่น เมื่อเมล็ดเริ่มงอกจะมีรากอันแรกเจริญจากส่วนรากอ่อน (Radicle) ของต้นอ่อนของเมล็ด เรียกว่า Primary Root ส่วนรากแขนง (Seminal Roots) เกิดบริเวณข้อที่ใบเลี้ยงติดอยู่ (Scutellar Node) ประมาณ 6-7 ราก รากชุดนี้เป็นรากชั่วคราวซึ่งใช้สำหรับการตั้งตัวของพืชในระยะแรก ส่วนรากถาวรชุดแรกเกิดที่ข้อถัดไปที่มีกาบหุ้มยอดอ่อน (Coleoptile) ติดอยู่ซึ่งเรียกข้อนี้ว่า Coleoptilar Node รากถาวรชุดอื่นๆ จะเกิดที่ข้อที่อยู่ใกล้ผิวดิน รวมทั้งบริเวณข้อของลำต้นที่เลื้อยไปตามผิวดินและใต้ดินเรียกรากเหล่านี้ว่ารากค้ำจุน (Adventitious Roots)

4.1.2 ลำต้น (Shoot) ลำต้นหญ้าเจริญมาจากส่วนของยอดอ่อน (Plumule) ในเมล็ด ลำต้นแรกที่ยกขึ้นมานี้เรียกว่า Main Stem ต้นหญ้าสามารถแตกหน่อหรือแขนง (Tillers) ได้มากมาย และรวดเร็ว จากข้อต่างๆ ของลำต้นทำให้มีลักษณะเป็นกอ ลำต้นหญ้ามักมีลักษณะกลมหรือค่อนข้างแบนแบ่งเป็นข้อและปล้อง (Node and Internode) ให้เห็นชัดเจน ส่วนข้อปล้องมันมีลักษณะเป็นรูกลวงภายในและต้นในส่วนข้อ ปล้องบริเวณโคนต้นจะสั้น ส่วนยอดจะยืดยาวออก โดยเฉพาะเมื่อหญ้าจะออกดอก ที่ข้อทุกข้อมีตาราก ตายอดและตาใบอยู่ ซึ่งทั้งตารากและตายอดนี้พร้อมที่จะเจริญได้ทันทีเมื่อมีสภาพการณ์เหมาะสม จึงทำให้หญ้าขยายพันธุ์โดยใช้ท่อนพันธุ์ได้ดี การเจริญของต้นหญ้ามียุคหลายลักษณะคือ (1) แบบลำต้นตั้งตรง (Erect Lateral Shoots) ได้แก่ หญ้ากินนี เนเปียร์ บัฟเฟิล ซีดาเรีย จอห์นสัน (2) เจริญขนานไปกับพื้นผิวดิน เรียกว่า ไหล (Stolon) ได้แก่ หญ้าขน ชิกเนล และ (3) เจริญอยู่ใต้ผิวดินเรียกว่า เหง้า (Rhizomes) เช่น หญ้าแพรก หญ้าเนเปียร์ และ

หญ้าอะตราคม อย่างไรก็ตาม พวกหญ้าที่มีลำต้นเลื้อยไปกับผิวดินและใต้ดิน เมื่อออกดอกส่วนของช่อดอกจะตั้งขึ้น ลำต้นหญ้ามีการแตกกอ (Tillering) 2 ลักษณะ คือ (1) Extravaginal หมายถึง การแตกหน่อที่หน่อใหม่แทงทะลุกาบใบออกมา (2) Intravaginal หมายถึง การแตกหน่อที่ใหม่โผล่ขึ้นมาภายในกาบ หญ้าส่วนใหญ่มีการแตกหน่อแบบ Intravaginal

4.1.3 ใบ (Leaf) ใบหญ้าเกิดที่ข้อของลำต้น ในขณะที่ยังอ่อนอยู่จะม้วนห่อลำต้นและยอดอ่อนไว้อย่างเหนียวแน่น ใบหญ้าประกอบด้วย (1) กาบใบ (Leaf Sheath) เป็นส่วนกาบที่ห่อหุ้มลำต้นและอยู่ติดกับลำต้นที่ส่วนของข้อ (2) ตัวใบ (Leaf Blade หรือ Lamina) เป็นแผ่นใบ มีรูปร่างคล้ายหอกยาวเรียว ปลายแหลม มีเส้นกลางใบอยู่ตรงกลาง และเส้นใบ (Veins) ขนานไปตามความยาวของตัวใบ (3) เชือกกันน้ำฝนหรือลิ้นใบ (Ligule) เป็นเยื่อที่อยู่ตรงส่วนต่อของกาบใบและตัวใบ ด้านในมักมีสีขาวหรือสีน้ำตาล มีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช จึงใช้ในการจำแนกชนิดและพันธุ์หญ้าได้ (4) หูใบหรือเขี้ยวใบ (Auricle) เป็นส่วนของเยื่อหรือขนที่ยื่นออกมาทางด้านข้างตรงส่วนต่อของกาบใบและตัวใบ ใบหญ้าเกิดเรียงเป็น 2 แถวสลับกันไปรอบลำต้น เมื่อมีการแตกหน่อหรือแขนงใหม่ ใบแรกของแขนงใหม่จะเปลี่ยนเป็นเยื่อสีขาวไม่มีตัวใบ ทำหน้าที่ห่อหุ้มยอดอ่อนและป้องกันการเสียดสีของแขนงใหม่กับลำต้นเดิม เชื่อดังกล่าวนี้เรียกว่า Prophyll

4.1.4 ช่อดอก (Inflorescence) ดอกหญ้ามีลักษณะเป็นช่อ ประกอบด้วยกลุ่มดอกที่เรียกว่า Spikelet ติดอยู่บนแกนกลาง (Axis) ที่ตั้งอยู่บนก้านช่อดอก (Peduncle) ก้านของกลุ่มดอกเรียกว่า Pedicel ซึ่งอยู่ติดบนก้านช่อดอกย่อย (Rachis) แกนกลางที่ก้านช่อดอกย่อยติดอยู่เรียกว่า Rachilla หญ้าบางชนิดกลุ่มดอกไม่มีก้านและติดอยู่บนก้านช่อดอกโดยตรงเรียกกลุ่มดอกดังกล่าวนี้ว่า Sessile Spikelet กลุ่มดอกประกอบด้วยดอกย่อย (Florets) หนึ่งหรือหลายดอก โดยที่ฐานมี Empty Glumes อยู่ 2 อัน ซึ่งเจริญมาจากกลีบประดับ (Floral Bracts) Empty Glumes มีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช บางชนิดอาจเป็นเยื่อบางๆ เล็กๆ เช่น ดอกของข้าวโพด หญ้าจอห์นสัน หรือเป็นเกล็ดหุ้มส่วนฐานเอาไว้ เช่น ดอกของหญ้ากีนี หรือใหญ่ขึ้นจนหุ้มดอกย่อยไว้ เช่น ดอกหญ้าชิกแนล เป็นต้น ดอกย่อยประกอบด้วยกาบ 2 กาบประกบกัน กาบล่างมักมีขนาดใหญ่กว่าเรียกว่า Lemma และกาบบนเรียกว่า Palea ภายในมีเกสรตัวผู้ (Stamen) อยู่ 1, 2, 3 หรือ 6 อันขึ้นกับชนิดหญ้า แต่ส่วนใหญ่จะมีอยู่ 3 อัน ที่ส่วนปลายของเกสรตัวผู้ทุกอันจะมีกระเปาะอยู่เรียกว่า Anther ซึ่งมีสีแตกต่างกัน เช่น สีเหลือง ม่วง หรือเป็นลายประ ภายในดอกย่อยจะมีเกสรตัวเมีย 1 อัน ประกอบด้วยรังไข่และมี Stigmas ชูขึ้นมา 2 อัน ซึ่งมีลักษณะคล้ายๆ ขนนก (Feathery Stigmas) ที่ฐานรังไข่มักมีเกล็ดเล็กๆ 2-3 อัน เรียกว่า Lodicules ทำหน้าที่ปิดเปิด Lemma และ Palea ที่ส่วน

ปลายของ Lemma ของหญ้าบางชนิดจะมีหางยาวออกไปเรียกว่า Awn และมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช

เมื่อดอกเจริญเติบโตเต็มที่และมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม กาบ Lemma และ Palea จะเปิดออก อับเรณูจะโผล่ออกมาและตกออกพร้อมทั้งมีละอองเกสร (Pollen Grains) ร่วงออกมา ระยะเวลาบานของดอกหญ้านี้เรียกว่า Anthesis ซึ่งแสดงว่าดอกเหล่านี้พร้อมที่จะผสมพันธุ์ได้ ช่อดอกของพืชตระกูลหญ้ามีหลายแบบ จำแนกได้ดังนี้

1) Raceme เป็นช่อดอกที่มีกลุ่มดอกย่อยอยู่บนแกนก้านช่อดอก โดยมีก้านของกลุ่มดอกย่อยยาวเท่าๆ กันเชื่อมติดอยู่ เช่น ช่อดอกย่อยของหญ้าธัญชี หญ้าขน เป็นต้น

2) Spike เป็นช่อดอกลักษณะคล้ายกับ Raceme แต่กลุ่มดอกย่อยไม่มีก้าน (Sessile Spikelet) เช่น ช่อดอกหญ้าเนเปียร์ หญ้าสีดาเรีย เป็นต้น

3) Panicle เป็นช่อดอกที่ประกอบด้วยช่อดอกย่อยหลายช่อรวมกัน จึงทำให้ช่อดอกมีกิ่งก้านสาขามากมาย และมีลักษณะแตกต่างกันมากมาย เช่น บางชนิดมีช่อดอกย่อยแตกออกไปจากจุดเดียวกันเรียกว่า Digitate Panicle เช่น หญ้าไรดส์ หญ้าแพงโกล่า เป็นต้น หญ้าส่วนใหญ่มีช่อดอกเป็นแบบ Panicle

4.1.5 ผลและเมล็ด (Fruit and Seed) ผลกับเมล็ดหญ้าเป็นส่วนที่มีเปลือก (Pericarp and Seed Coat) เชื่อมติดกันตลอดเรียกว่า Caryopsis มีลักษณะเป็น One-Seed Fruit เมล็ดหญ้าเจริญมาจากไข่อ่อนทั้งที่ได้รับการผสมและไม่ได้รับการผสมจากละอองเกสร และเจริญขึ้นมาในรังไข่ เมล็ดหญ้ามักอยู่ใน Lemma กับ Palea ลักษณะของเมล็ดหญ้าที่เจริญขึ้นมา โดยไม่มีการผสมเกสรนี้เรียกว่า Apomixis และมีหญ้าหลายชนิดที่มีเมล็ดเกิดขึ้นในลักษณะนี้ ได้แก่ หญ้าไรดส์ ชิกเนลกินนิ เนเปียร์ เป็นต้น เมล็ดหญ้ามักมีใบเลี้ยงเดี่ยวเรียกว่า Scutellum มีดินอ่อนที่ฐานของเมล็ด และมีอาหารสะสมอยู่ในรูปของ Endosperm

4.2 พันธุ์หญ้าอาหารสัตว์ ที่ทนต่อสภาพน้ำท่วมขัง

การใช้หญ้าเป็นตัวกรองน้ำเสีย พันธุ์หญ้าที่นำมาใช้ต้องปรับตัวได้ และทนต่อสภาพน้ำท่วมขัง จากการศึกษาเบื้องต้นในการคัดเลือกชนิดพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ หญ้าแฝก

(*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) หญ้าสตาร์ (*Cynodon plectostachyus*) หญ้าดึกชี (*Sporoborus virginicus*) หญ้ากาลล่า (*Leptochloa fusca* (L.) Kunth) เป็นต้น (สุชาดา และคณะ, 2537) และหญ้าที่สามารถใช้บำบัดน้ำเสียได้ มี 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าดึกชี และหญ้ากาลล่า (สายันท์ และคณะ, 2543)

4.2.1 หญ้าสตาร์ (African Star) (*Cynodon plectostachyus*)

ธนัญชัย (2545) กล่าวว่า หญ้าสตาร์มีแหล่งดั้งเดิมอยู่ในแอฟริกาตะวันออก ลำต้นเป็นแบบเถาเลื้อย ทอดไปตามดิน ขนาดใหญ่ และแข็งแรง ลำต้นสูง 60 -100 เซนติเมตร ใบมีขน ใบยาว 10-25 เซนติเมตร กว้าง 4-7 เซนติเมตร ช่อดอกเป็นแบบ Pinnacle ประกอบด้วยหลายแฉก 4-5 แฉก หญ้าสตาร์เป็นหญ้าที่เจริญเติบโตได้เร็วและมีแนวโน้มที่จะไล่พืชอื่นที่ขึ้นร่วมด้วย หญ้าชนิดนี้สามารถตอบสนองต่อยุ่ยในโตรเจนได้ดี ทนต่อดินเค็มได้ในระดับปานกลาง ความสูงของการตัดอยู่ระหว่าง 15-20 เซนติเมตร และควรตัดอีกครั้งเมื่อหญ้ามีความสูง 30-60 เซนติเมตร ความสูงของการตัดมีผลกระทบอย่างมากต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของราก เช่น จากการศึกษาของ Minson (1975) กล่าวว่า การตัดหญ้าสตาร์สูงจากพื้นดิน 5 เซนติเมตรและตัดทุกๆ ครั้งที่หญ้ามีความสูง 20 เซนติเมตร ผลผลิตจะลดลงถึงเปอร์เซ็นต์ 97 เมื่อเทียบกับแปลงที่ไม่มีการตัดเลย ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะแปลงหญ้าสตาร์โดยระบบหญ้ากรองน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

หญ้าสตาร์ขึ้นได้ในแทบทุกพื้นที่ ยกเว้นในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำเกินไป (1 ถึง 5 องศาเซลเซียส) ไม่มีน้ำค้างแข็ง และบริเวณที่ดินเค็มจัด แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าในบริเวณแหลมผักเบี้ย

ซึ่งเป็นที่ทำนากลือมาก่อนหญ้าสตาสามารถเจริญเติบโตได้ดีมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีการปล่อยน้ำไหลผ่านตลอด (ธนัญชัย, 2545) นอกจากนี้หญ้าสตาสามารถขึ้นได้ดีในเมืองไทย แม้แต่พื้นที่ที่สภาพดินเป็นดินเลวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หรือแม้แต่บนที่สูง หญ้าสตาสามารถขึ้นได้ในบริเวณที่มีฝนตกเฉลี่ย 500-800 มิลลิเมตรต่อปี หญ้าสตาขึ้นได้ในดินหลายชนิดตั้งแต่ดินทรายไปจนถึงดินเหนียว ทนต่อการเหยียบย่ำและการเหยียบย่ำของสัตว์ได้ดี (สายัณห์, 2547) นอกจากนี้หญ้าสตายังเป็นหญ้าที่มีความน่ากินต่อสัตว์ประเภทแกะและแพะทุกชนิด (เฉลิมพล, 2530)

ผลผลิต เป็นหญ้าที่ตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนได้ดี ผลผลิตน้ำหนักรวมเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอาจสูงถึงประมาณ 15 ตันต่อเฮกเตอร์ ถ้ามีการให้น้ำด้วยยิ่งให้ผลผลิตสูง อาจสูงถึงประมาณ 27 ตันต่อเฮกเตอร์ ใบมีปริมาณโปรตีนสูง อาจสูงถึงร้อยละ 20 โดยทั่วไปแล้วมักมีประมาณร้อยละ 10-15 (อารีย์, 2526)

4.2.2 หญ้าคาล่า (Kalla grass) (*Leptochloa fusca* (L.) Kunth)

สายัณห์ (2547) กล่าวว่าหญ้าคาล่าเป็นหญ้าพื้นเมืองที่พบในประเทศปาเกิสถานและอินเดีย นอกจากนี้ยังพบในแถบเอเชีย และแอฟริกา ประเทศออสเตรเลีย เป็นหญ้าที่มีอายุหลายปีพบในบริเวณที่มีดินเค็มสูงถึง 12-14 dS/m หญ้าคาล่าสามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีความเค็มสูงกว่า 15 dS/m ปริมาณน้ำฝน 550-1,100 มิลลิเมตร เป็นพืชเขตร้อนและกึ่งแห้งแล้ง ปลูกได้โดยใช้เมล็ด แต่วิธีที่นิยมปลูก คือการใช้ท่อนพันธุ์ปลูกต่อเนื่องจากการเพาะเมล็ดทำได้ยาก เพราะเมล็ดมีขนาดเล็ก และมีเปอร์เซ็นต์การงอกในดินเค็มต่ำมาก ระยะเวลาปลูกที่เหมาะสม คือฤดูร้อน

หญ้าคาล่านี้มีลักษณะทรงต้นสูงประมาณ 1-1.5 เมตร ลำต้นสูงตั้งตรงและเป็นพุ่มปล้องจะเรียบและมัน แผ่นใบจะแบนยาวเป็นริ้ว ใบหยาบมีความยาวประมาณ 20-50 เซนติเมตร กว้างประมาณ 4-7 มิลลิเมตร ระหว่างใบกับกาบใบมีเยื่อถักน้ำฝนหุ้มอยู่ รวงมีลักษณะตั้งตรงและเกิดบริเวณส่วนของข้อซึ่งมีกาบใบหุ้มอยู่ มีช่อดอกแบบ Racemes ยาวประมาณ 21-26 เซนติเมตร แต่ละรวงจะมีช่อดอก 20-25 ช่อ ก้านดอกมีลักษณะตั้งตรง หญ้าคาล่าสามารถปลูกได้ตลอดปีแต่เมื่อเริ่มเข้าเดือนมีนาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูง หญ้าคาล่าจะเจริญเติบโตทางลำต้นอย่างรวดเร็ว มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของหญ้าคาล่า

ที่มา: อังสนา (2537)

หญ้าคาล่า สามารถนำไปเป็นอาหารสัตว์ จำพวก แพะ แกะ และโค ในรอบ 1 ปี ถ้าหากตัด 5 ครั้ง จะได้ผลผลิตรวมประมาณ 6,400 กิโลกรัมต่อไร่ หญ้าชนิดนี้ ไม่สะสมเกลือไว้ในส่วนของพืชเหมือนพืชทนเค็มชนิดอื่น โดยจะรักษาระดับของ K^+/Na^+ และน้ำตาลไว้ได้สูงในใบ นอกจากนี้ยังทนต่อการตัด และฟื้นตัวได้ดี ไม่มีรายงานว่าเป็นพิษหรือเป็นอันตรายต่อสัตว์ หญ้าแห้ง หรือฟาง สามารถนำไปใช้เพาะเห็ด และนำไปใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ (อังสนา, 2537) นอกจากนี้จากการศึกษาของ สุชาดา และคณะ (2537) พบว่าสามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสม และเจริญเติบโตได้ในสภาพน้ำเสีย และจากรายงานของ สมศักดิ์ และสิริภพ (2548) พบว่าหญ้าคาล่ามีประสิทธิภาพสามารถลดค่าบีโอดีได้เช่นกัน

4.2.3 หญ้าดึกชี (*Sporobolus virginicus*)

หญ้าดึกชี มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Sporobolus virginicus* หญ้าดึกชีพบได้ตามชายฝั่งในทวีปแอฟริกัน, ชายฝั่งทางตอนใต้ของประเทศอินเดีย, ศรีลังกา, ออสเตรเลีย และสหรัฐอเมริกา (FAO, n.d.) หญ้าดึกชี จัดเป็นพืชชอบเกลือ ประเภทหญ้าอาหารสัตว์ที่เหมาะสมที่จะปลูกในพื้นที่ดินเค็มจัด หญ้าดึกชีจัดเป็นพืชพวก Halophyte พบบริเวณที่ลุ่มที่มีน้ำขังในรัฐควีนแลนด์ และรัฐนิวเซาท์เวลส์ ของประเทศออสเตรเลีย มีความสามารถทนต่อสภาพดินเค็มจัดและสภาพน้ำท่วมขังได้เป็นอย่างดี สำหรับหญ้าดึกชีที่ปลูกในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย กรม

พัฒนาที่ดินนำ มาจากประเทศสหรัฐอเมริกา มีทั้งชนิดใบหยาบ คือ หญ้าดักชี และชนิดใบละเอียด คือ หญ้าสเมียร์นา หญ้าดักชีเป็นหญ้าชอบเกลือปรับตัวได้ดีในพื้นที่ดินเค็มที่มีคราบเกลือมาก นอกจากนี้ยังทนสภาพน้ำท่วมขังได้นาน (อรุณี, 2547)

หญ้าดักชีจัดว่าเป็นหญ้าที่มีประโยชน์มากในพื้นที่ดินเค็มชายทะเลและดินเค็มบกของบริเวณเขตร้อนทั่วโลก เนื่องจากดักชีเป็นหญ้าอาหารสัตว์ที่สามารถเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดีในพื้นที่ดินเค็มจัด ทางตอนเหนือของรัฐควีนแลนด์หญ้าดักชีเป็นหญ้าอาหารสัตว์ที่สำคัญมาก สามารถใช้เป็นอาหารของวัวได้ตลอดปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งในพื้นที่ดินเค็มจัดจะประสบปัญหาการขาดแคลนอาหารสัตว์ นอกจากนั้นหญ้าดักชียังมีโปรตีนและแร่ธาตุสำหรับสัตว์ในปริมาณสูง (FAO, n.d.) สำหรับในประเทศไทย กลุ่มวิจัยและพัฒนาการจัดการดินเค็ม ได้จัดทำแปลงสาธิตปลูกหญ้าดักชีในพื้นที่ดินเค็มจัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่งเสริมให้เกษตรกรในพื้นที่ดินเค็มจัดปลูกหญ้าดักชีเพื่อแก้ไขปรับปรุงดินเค็มจัด และใช้เป็นหญ้าอาหารสัตว์ ซึ่งเป็นประโยชน์แก่เกษตรกรในพื้นที่อย่างมาก ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ลักษณะแปลงหญ้าดักชี โดยระบบหญ้ากรองน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

5. ไนโตรเจน

สิทธิชัย (2549) นักสิ่งแวดล้อมมีความสนใจต่อสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่างๆ เนื่องจากความสำคัญของสารเหล่านี้ในบรรยากาศ ในน้ำและในกระบวนการชีวเคมีของพืชและ

สัตว์ ก่อนข้างจะสลับซับซ้อนเพราะสาเหตุสองประการ ประการแรกได้แก่ การที่ไนโตรเจนสามารถมีสถานะออกซิเดชัน (Oxidation State) ได้หลายรูปแบบ เช่น -3, 0, +1, +2, +3, +4, +5

NH_3	N_2	N_2O	NO	N_2O_3	NO_2	N_2O_5
-3	0	+1	-2	+3	+4	+5

ประการที่สองได้แก่ ข้อเท็จจริงที่ว่าสถานะออกซิเดชันอาจเปลี่ยนแปลงได้โดยอาศัยปฏิกิริยาชีวเคมี (ต้องอาศัยสิ่งแวดล้อมช่วยเหลือให้เกิดขึ้น) สถานะออกซิเดชันอาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ ขึ้นอยู่กับสถานะแวดล้อมซึ่งอาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน หรือเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน ก็ได้

5.1 ประเภทของไนโตรเจนในน้ำและน้ำเสีย

ไนโตรเจนในน้ำมักพบได้ในรูปของแก๊สไนโตรเจนละลายและสารประกอบไนโตรเจน

สารประกอบไนโตรเจนในน้ำจำแนกได้เป็น 4 ชนิด คือ สารอินทรีย์ไนโตรเจน, แอมโมเนีย, ไนเตรต และไนไตรต์ ไอออน

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด} &= \text{สารอินทรีย์ไนโตรเจน} + \text{แอมโมเนีย} + \text{ไนเตรต} + \text{ไนไตรต์} \\ \text{หรือ} &= \text{สารอินทรีย์ไนโตรเจน} + \text{สารอนินทรีย์ไนโตรเจน}\end{aligned}$$

ผลรวมของสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจนเรียกว่า ทีเคเอ็นไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen หรือ TKN)

$$\begin{aligned}\text{TKN} &= \text{สารอินทรีย์ไนโตรเจน} + \text{แอมโมเนียไนโตรเจน} \\ \text{ดังนั้น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด} &= \text{ทีเคเอ็นไนโตรเจน} + \text{ไนเตรต} + \text{ไนไตรต์}\end{aligned}$$

5.2 วัฏจักรไนโตรเจน

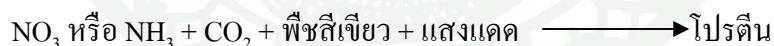
การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนรูปต่างๆ เกิดขึ้นเป็นวัฏจักรที่มีบรรยากาศเป็นแหล่งศูนย์กลาง ไนโตรเจนส่วนใหญ่ถูกเก็บอยู่ในบรรยากาศในรูปของแก๊สไนโตรเจน ซึ่งเป็นแก๊สเฉื่อยที่สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

การเปลี่ยนแปลงของแก๊สไนโตรเจนเกิดขึ้นได้ 2 ทาง ทางแรกคือเปลี่ยนเป็นโปรตีนหรือสารอินทรีย์ในโตรเจน โดยความสามารถของแบคทีเรีย สาหร่าย และแอลจีบางชนิด

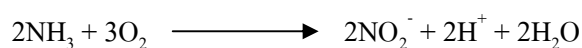


ทางที่สองคือ แก๊สไนโตรเจนจำนวนมากสามารถถูกออกซิไดซ์ โดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าในระหว่างพายุฟ้าผ่ากลายเป็น N_2O_5 ซึ่งรวมกับน้ำ จะได้กรดไนตริก (HNO_3) ในน้ำฝน นอกจากนี้ในธรรมชาติยังสังเคราะห์โดยออกซิไดซ์ไนโตรเจนหรือแอมโมเนียในระหว่างการผลิตปุ๋ยวิทยาศาสตร์

ปุ๋ยในธรรมชาติหรือแอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจนของพืชในระหว่างการสังเคราะห์แสง ทำให้ได้โปรตีนดังนี้



โปรตีนซึ่งสังเคราะห์ขึ้นโดยพืชและสาหร่ายสีเขียวเป็นแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญของสัตว์ต่างๆ รวมทั้งมนุษย์ มนุษย์และสัตว์ไม่สามารถใช้ประโยชน์โดยตรงได้จากแก๊สไนโตรเจนหรือสารอินทรีย์ในโตรเจนทั้งหลาย จึงจำเป็นต้องอาศัยพืช สาหร่าย แอลจี และแบคทีเรียบางชนิดในการสร้างสารอินทรีย์ในโตรเจนให้มนุษย์และสัตว์บริโภคโปรตีนเพื่อใช้ในการดำรงชีวิตและขับถ่ายของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ในโตรเจนออกมา เช่น ยูเรีย เป็นต้น และเมื่อพืชและสัตว์ตายและเน่าเปื่อยเป็นสารอินทรีย์ในโตรเจนที่สลายตัวกลายเป็นแอมโมเนีย การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ในโตรเจนกลายเป็นแอมโมเนีย เรียกว่า แอมโมนิฟิเคชัน แอมโมเนียอาจถูกออกซิไดซ์ให้กลายเป็นไนเตรตได้ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งอาศัยแบคทีเรีย 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือ Nitrosomonas เป็นแบคทีเรียที่เปลี่ยนแอมโมเนียให้กลายเป็นไนไตรต์ (NO_2) ดังนี้



กลุ่มที่ 2 คือ Nitrobacter เป็นแบคทีเรียกลุ่มที่สองที่เปลี่ยนไนไตรต์ให้กลายเป็นไนเตรต ดังนี้

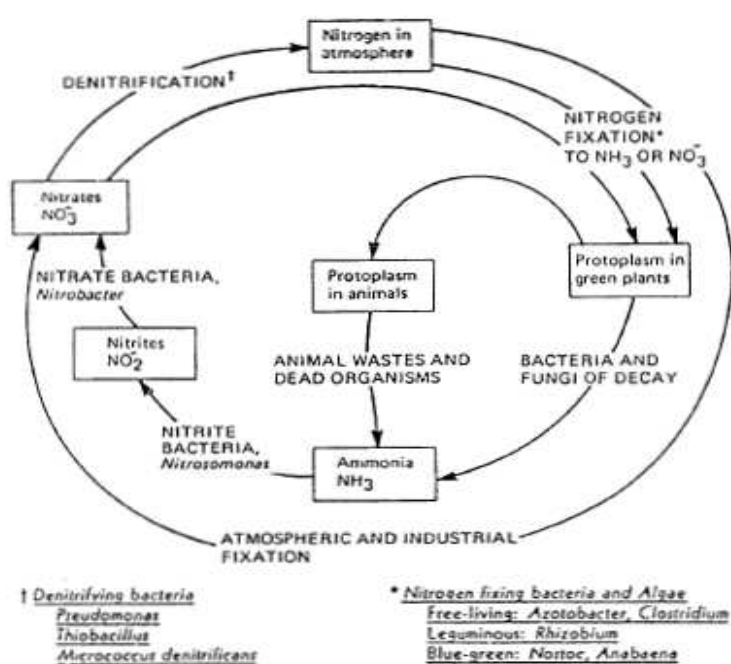


แบคทีเรียทั้งสองกลุ่มเป็นประเภทออโตโทรฟ (Autotroph) ที่ใช้สารอนินทรีย์คาร์บอน เช่น CO_2 ในการเจริญเติบโต เป็นต้น

ไนเตรตที่เกิดขึ้นบางส่วนถูกใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนของพืชต่างๆ ไนเตรตที่เหลือจะถูกละลายน้ำและซึมผ่านชั้นดินกลายเป็นน้ำใต้ดิน เนื่องจากดินไม่สามารถจับไนเตรตได้ น้ำบาดาลจึงอาจมีไนเตรตละลายอยู่ในปริมาณที่สูง ถ้ามีการใช้ปุ๋ยไนเตรตเกินขนาดและอย่างต่อเนื่องภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ไนเตรตและไนไตรต์ถูกรีดิวซ์ให้เป็นแก๊สไนโตรเจนด้วยกระบวนการที่เรียกว่า ดีไนทริฟิเคชัน



กระบวนการเช่นนี้ทำให้ปุ๋ยไนเตรตเสื่อมสภาพภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน



ภาพที่ 5 วงจรของไนโตรเจน

ที่มา: Southwick (1972)

5.3 แก๊สไนโตรเจนละลายน้ำ (Dissolved Nitrogen)

แก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สเฉื่อยที่พบได้มากที่สุดคือน้ำจืดหรือน้ำเค็ม เนื่องจากภายในอากาศมีไนโตรเจนมากถึงร้อยละ 78 (ในขณะที่มีออกซิเจนในอากาศร้อยละ 21) แก๊สไนโตรเจนจึงละลายน้ำได้มากกว่าออกซิเจน ยกตัวอย่างเช่น ไนโตรเจนละลายน้ำได้ 15.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับออกซิเจนที่สามารถละลายน้ำได้ 9.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิเดียวกัน การถ่ายเทแก๊สไนโตรเจนในอากาศให้กับน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่นเดียวกับกรณีของออกซิเจน การเพิ่มอุณหภูมิหรือเพิ่มปริมาณเกลือในน้ำจะทำให้ไนโตรเจนละลายน้ำได้น้อยลง

5.4 แหล่งที่มาของไนโตรเจนในสิ่งแวดล้อม

5.4.1 สภาวะธรรมชาติ ไนโตรเจนเข้าสู่แหล่งน้ำทางอากาศในรูปของแก๊สไนโตรเจน จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบหลายชนิด ซึ่งเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนนี้มีส่วน

เกี่ยวข้องกับพวกพืช และสัตว์ที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น นอกจากนี้ยังมีสารประกอบไนโตรเจนเข้าสู่แหล่งน้ำได้จากทางอื่น เช่น อาจถูกพัดพาโดยน้ำตามผิวดิน หรือน้ำใต้ดิน

5.4.2 ปุ๋ย ปุ๋ยเคมีเป็นแหล่งที่มาของไนโตรเจนที่สำคัญอันหนึ่งในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ปุ๋ยที่ประกอบด้วย สารเคมีหลายชนิด เนื่องจากพืชใช้ในเทรตจากดินได้ไม่สมบูรณ์ ทำให้ต้องใส่ปุ๋ยที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เพื่อเพิ่มผลผลิตให้ได้สูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและวิธีการเพาะปลูก การใช้ปุ๋ยดังกล่าวมีผลให้มีไนโตรเจน ระบายสู่สิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น

5.4.3 ของเสียจากสัตว์ แหล่งที่มาของไนโตรเจนที่สำคัญอีกอันหนึ่ง คือ ของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ จะมีไนโตรเจนสูง หากเปลี่ยนเป็นไนเตรตจะเกิดปัญหาที่รุนแรง

5.4.4 ของเสียจากมนุษย์ ของเสียจากชุมชนที่ระบายโดยตรงสู่แหล่งน้ำเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่สำคัญ ซึ่งแม้จะกำจัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว ก็ขจัดไนโตรเจนออกไปได้น้อยกว่าครึ่งหนึ่ง นอกจากนี้แอมโมเนียมไอออนในน้ำทิ้งสุขภัณฑ์ จะเปลี่ยนเป็นรูปไนเตรตอย่างรวดเร็ว

5.4.5 ของเสียจากอุตสาหกรรม ของเสียจากอุตสาหกรรมเป็นที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต และโรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยมลสารจำพวกไนโตรเจนสูง ได้แก่ โรงงานเกี่ยวกับเชื้อเพลิง โรงงานอุตสาหกรรมอาหารเป็นต้น

6. แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$)

6.1 แอมโมเนีย

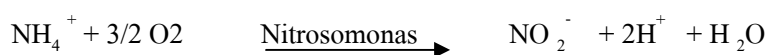
แอมโมเนีย เป็นแก๊สไม่มีสี มีกลิ่นฉุน สามารถละลายน้ำได้ดี แอมโมเนียที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะเกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจน การจับถ่ายของสิ่งมีชีวิต ซากของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว ปุ๋ยและอาหารสัตว์น้ำที่เหลือตกค้าง กระบวนการสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนจนกลายเป็นแอมโมเนียอิสระ (NH_3) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) เรียกว่า Ammonification ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตแอมโมเนียที่สำคัญที่สุดของแหล่งน้ำส่วนใหญ่ โดยปกติเมื่อพุดถึงแอมโมเนีย

ในน้ำจะหมายถึงแอมโมเนียทั้งหมด หรือ ผลรวมของแอมโมเนียอิสระ (NH_3) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ในน้ำแอมโมเนียทั้งสองรูปจะอยู่ปนกันโดยมีสมดุลเคมีดังนี้



แอมโมเนีย เป็นสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่มีบทบาทสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพราะเป็นทั้งสารพิษต่อสัตว์น้ำและปุ๋ยสำหรับการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช (Hargreaves, 1998) แอมโมเนียเป็นสารพิษที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำในความเข้มข้นที่ต่ำ ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของแอมโมเนียโดยเฉลี่ยจากสัตว์ทะเล 17 ชนิด อยู่ที่ 1.86 mg NH_3 /l (USEPA, 1984, 1987 อ้างตาม Randall and Tsui, 2002) ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแอมโมเนียส่วนใหญ่ได้มาจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำและอาหารเหลือตกค้าง เมื่อเลี้ยงสัตว์น้ำไปนานๆ ความเข้มข้นของแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงจึงสูงขึ้นจนอาจถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ ในการเลี้ยงสัตว์น้ำโดยทั่วไปจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่ให้สูงเกินไป แต่การกระทำเช่นนี้อาจไปสร้างผลกระทบให้กับแหล่งน้ำธรรมชาติที่รองรับน้ำทิ้งโดยเฉพาะตามพื้นที่ที่มีฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่หนาแน่น เพราะน้ำทิ้งเหล่านี้มีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่าแหล่งน้ำธรรมชาติ ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงได้กำหนดค่าของแอมโมเนียไว้ทั้งในมาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและมาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง แอมโมเนียจึงเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำ

แอมโมเนียจะอยู่ในรูปแบบหรือปริมาณมากน้อย จะขึ้นกับค่าพีเอช (pH) อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเป็นหลัก แอมโมเนียในแหล่งน้ำสามารถลดปริมาณลง โดยการเปลี่ยนแปลงรูปเป็นไนเตรต เรียก กระบวนการนี้ว่า กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งเป็นกระบวนการออกซิเดชัน มีแบคทีเรียชนิด Aerobic Chemoautotrophic Bacteria เป็นตัวช่วย ดังสมการต่อไปนี้



ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดในน้ำ ได้แก่ ค่า pH และ อุณหภูมิ โดยปริมาณแอมโมเนียอิสระจะเพิ่มขึ้นตามระดับ pH และอุณหภูมิที่สูงขึ้น พบว่า ค่า pH จะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียในน้ำมากกว่าอุณหภูมิ (Trussell, 1972; Emerson *et al.*, 1975)

6.2 การใช้ประโยชน์แอมโมเนียในอุตสาหกรรม (โศรดา, 2543)

6.2.1 ใช้ในการทำปุ๋ย

6.2.2 ใช้ผลิตสารเคมีอื่นๆ เช่น Ammonium Sulfate, Sodium Nitrate, Urea และ Ammonium Phosphate

6.2.3 ใช้ทำวัตถุระเบิด

6.2.4 ใช้ในการกลั่นน้ำมัน โดยเป็นตัวทำลายกรดที่ติดอยู่ในน้ำมันซึ่งจะกัดกร่อนผิวอุปกรณ์ที่ทำด้วยเหล็ก

6.2.5 ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกน้ำตาล และฟอกหนัง

6.2.6 ใช้ในการย้อมสีเส้นใย พิมพ์ผ้าฝ้าย

6.2.7 ใช้ในอุตสาหกรรมไฟเบอร์และพลาสติก

6.2.8 ใช้ในอุตสาหกรรมยา เช่น Sulfanilamide, Sulfathiazole, Sulfapyridine และยาซัลฟา

6.2.9 ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม

6.2.10 ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ

6.2.11 ใช้เป็น Curing Agent ในอุตสาหกรรมหนัง ป้องกันการเกิดราใน Tanning Liquors

6.2.12 ใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด

6.2.13 ใช้ในการผลิต Nitrogen Oxides

6.2.14 ใช้ในการทำเหม็นในโรงงานน้ำแข็ง ห้องเย็นและห้องแช่แข็ง

6.2.15 ใช้ในกระบวนการเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

6.3 ผลกระทบของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำ

แอมโมเนียอิสระเป็นรูปที่เป็นพิษอย่างมากต่อสัตว์น้ำโดยความเป็นพิษขึ้นกับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระ แอมโมเนียมไอออนเป็นรูปที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ โดยทั่วไปนิยมรายงานความเป็นพิษของแอมโมเนียในเทอมของความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระมากกว่า แอมโมเนียทั้งหมด สัตว์น้ำส่วนใหญ่เมื่อสัมผัสกับแอมโมเนียอิสระคำนวณในรูปไนโตรเจน 1 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร นานประมาณ 1 ชั่วโมงอาจทำให้เกิดการตายอย่างเฉียบพลัน

ในแหล่งน้ำจะพบแอมโมเนียมไอออนเป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของแอมโมเนียอิสระและแอมโมเนียมไอออนขึ้นกับค่าความเป็นกรด-เบส อุณหภูมิ และปริมาณเกลือแร่ โดยค่าความเป็นกรด-เบสจะมีอิทธิพลสูงสุด ปริมาณแอมโมเนียจะเพิ่มขึ้นตามค่าความเป็นกรด-เบสและอุณหภูมิที่สูงขึ้น เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเท่ากับ 7.0 และอุณหภูมิเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส จะเกิดแอมโมเนียมไอออนประมาณร้อยละ 99.2 ของแอมโมเนียทั้งหมดที่อุณหภูมิเดียวกัน แต่ถ้าค่าความเป็นกรด-เบสเพิ่มขึ้นเป็น 9.0 จะเกิดแอมโมเนียมไอออนประมาณร้อยละ 55.4 ของแอมโมเนียทั้งหมด ปริมาณแอมโมเนียในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จะมีปริมาณสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง ซึ่งเกิดจากอาหารและการขับถ่ายของสัตว์น้ำ หากมีการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบต่อเนื่องจึงควรมีข้อมูลคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงเพื่อประโยชน์ในการเลี้ยงสัตว์น้ำรุ่นต่อไป และอาจใช้อ้างอิงได้ถ้าเกิดปัญหาในการเลี้ยง เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในแหล่งน้ำสูงขึ้น ความสามารถในการขับถ่ายแอมโมเนียของสัตว์น้ำจะลดลง ทำให้ระดับแอมโมเนียในกระแสน้ำและเนื้อเยื่อสูงขึ้น ค่าความเป็นกรด-เบสของเลือดจึงสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาชีวเคมีต่าง ๆ และความคงสภาพ

ของเนื้อเยื่อ ทำอันตรายต่อเหงือกและลดความสามารถของเลือดในการลำเลียงออกซิเจน และเสียชีวิตในที่สุด อย่างไรก็ตามความเป็นพิษของแอมโมเนียยังขึ้นกับปัจจัยอีกหลายประการ เช่น ชนิดของสัตว์น้ำ ขนาดหรืออายุของสัตว์น้ำ สภาพบ่อที่เลี้ยง ความหนาแน่นของการเลี้ยง คุณภาพอื่นๆของน้ำ โดยเฉพาะออกซิเจนละลายที่ความเข้มข้นเดียวกัน แอมโมเนียอิสระจะเป็นพิษมากขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของออกซิเจนละลายต่ำ

ตารางที่ 4 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระที่มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำ แบ่งเป็นช่วง ได้ดังนี้

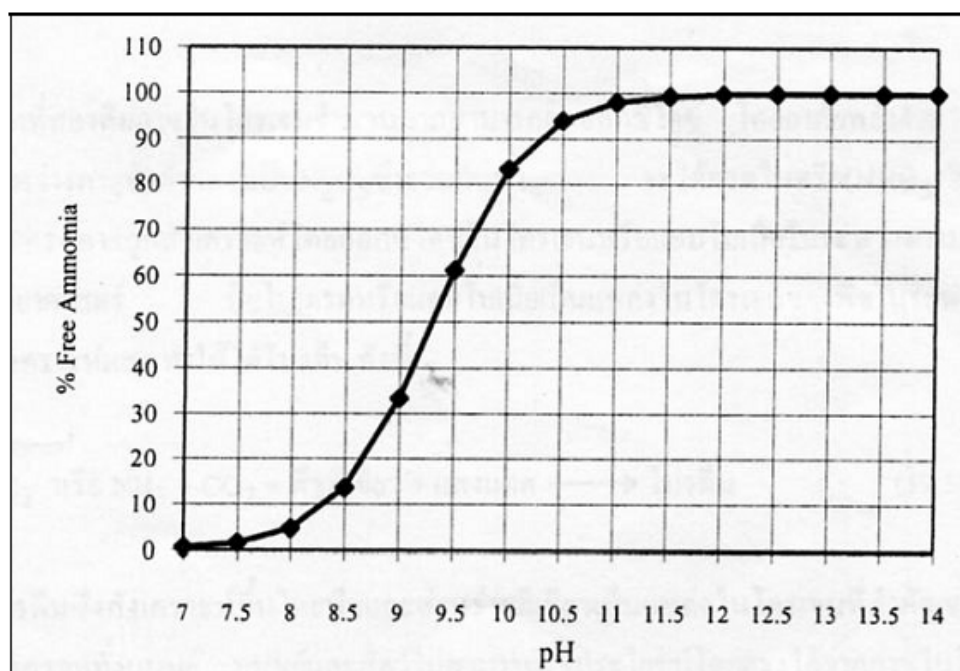
ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย (ส่วนในล้านส่วน)	ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ
0.1 – 0.4	สัตว์เจริญเติบโตช้า
0.5 – 1	สัตว์มีอาการเครียด หายใจเร็ว
2 – 3	สัตว์มีอาการเครียด หายใจเร็ว อ่อนแอ เกิดการติดเชื้อจากแบคทีเรีย และเริ่มตาย
4 – 5	อัตราการตายเพิ่มขึ้น
6 – 7	อัตราการตายเพิ่มขึ้น

ที่มา: สุชาดา (2546)

จะเห็นว่าแอมโมเนียแม้จะมีในน้ำปริมาณเพียงเล็กน้อย ระดับส่วนในล้านส่วนก็อาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ และส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างมาก โดยจะทำให้ผลผลิตตกต่ำ สูญเสียมูลค่าการส่งออก ซึ่งส่งผลกระทบต่อประเทศ วิธีการควบคุมปริมาณแอมโมเนียเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

- 1) ควบคุมปริมาณการให้อาหารไม่ให้เหลือหรืออาจลดปริมาณอาหารที่ให้อาหารครั้งหนึ่ง
- 2) ควบคุมค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำให้อยู่ระหว่าง 7.5 – 8.0
- 3) เปลี่ยนถ่ายน้ำร้อยละ 10 แล้วทำการเช็ดระดับแอมโมเนียภายหลังการเติมน้ำใหม่ แล้ว 12-24 ชั่วโมง
- 4) เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำให้เต็มที่
- 5) การดูดเก็บตะกอนภายในบ่อ

มันลินและมันรัก (2545) กล่าวว่า แอมโมเนียมีพิษต่อจุลินทรีย์ และสัตว์น้ำซึ่งรูปที่เป็นพิษคือ แอมโมเนียอิสระหรือ NH_3 ในขณะที่ไอออนของแอมโมเนียมหรือ NH_4^+ ไม่มีพิษ ปลาอาจมีแอมโมเนียได้หลายสิบมิลลิกรัมต่อลิตร หรือมากกว่าโดยไม่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์และสัตว์น้ำ ทั้งนี้ เพราะน้ำมีพีเอชเป็นกลางพีเอชเท่ากับ 7.2 หรือต่ำกว่า แอมโมเนียส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป NH_4^+ ดังนั้น พิษแทบจะไม่ปรากฏแม้ว่าความเข้มข้นสูงถึง 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าพีเอชของน้ำสูงขึ้นพิษแอมโมเนียจะปรากฏ ปริมาณ NH_3 จะเพิ่มตามระดับพีเอช ปริมาณ แกลือแร่ และอุณหภูมิที่สูงขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละ NH_3 กับพีเอช แสดงในดังภาพที่ 6 ปริมาณแกลือแร่ในน้ำมีอิทธิพลน้อยเช่นเดียวกับอุณหภูมิ แต่มีอิทธิพลในทางตรงกันข้าม นั่นคือ แอมโมเนียจะมีน้อยลงถ้ามีปริมาณแกลือแร่สูงขึ้น แอมโมเนีย เป็นสารที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากการหมักของตะกอน จุลินทรีย์ แต่ก็สามารถเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของแอมโมเนียกับความเป็นกรดต่าง

ที่มา: มันลิน และ มันรัก (2545)

6.4 พิษต่อสุขภาพมนุษย์

6.4.1 พิษแบบเฉียบพลัน

1) กรณีหายใจเข้าไปโดยตรงที่ระดับความเข้มข้น 5,000-10,000 ส่วน ต่ออากาศ 1 ล้านส่วนหรืออัตราผสมกับอากาศร้อยละ 0.5 - 1 จะทำให้เกิดอาการหายใจขัด อาจทำให้เสียชีวิตได้ทันที

2) กรณีกระเด็นเข้าตาจะเกิดการระคายเคืองแก้วตาอย่างรุนแรง ถึงขั้นทำให้ตาบอดบางส่วนหรือตาบอดทั้งหมด

3) กรณีแอมโมเนียเหลวสัมผัสผิวหนังโดยตรงเป็นระยะเวลาหนึ่ง จะทำให้ผิวหนังไหม้และเซลล์เนื้อเยื่อตายเพราะเย็นจัด

4) กรณีรับประทานเข้าไปจะกัดทำลายเยื่อภายในปาก และระบบทางเดินอาหาร จะทำให้ปวดท้องอย่างรุนแรง คลื่นไส้ อาเจียนและหมดสติในที่สุด

6.4.2 พิษแบบเรื้อรัง

หากร่างกายได้รับแก๊สแอมโมเนียอยู่เสมออาจเนื่องมาจากการทำงานเป็นระยะเวลานานๆ ในบรรยากาศที่มีแอมโมเนียผสมจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองเรื้อรังของตา จมูก และระบบทางเดินหายใจ (โสธรดา, 2543)

6.5 ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นพิษของแอมโมเนีย

แอมโมเนียจะมีพิษมากน้อยหรืออยู่ในสภาพแวดล้อมในขณะนั้นว่าส่งผลให้เกิดแอมโมเนียอิสระได้มากหรือน้อยเพียงใด การใช้แอมโมเนียทั้งหมดในน้ำเป็นดัชนีบอกความเป็นพิษของแอมโมเนียที่มีต่อสัตว์อย่างเฉียวไม่พอ ต้องมีข้อมูลปัจจัยทางด้าน pH และอุณหภูมิ ประกอบด้วย Trussell (1972) and Emerson *et al.* (1975) พบว่า pH และอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณแอมโมเนียอิสระมีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่อุณหภูมิแอมโมเนียมีค่าลดลงส่งผลให้ความทนทานของสัตว์น้ำมีค่าลดลง

Bower and Bidwell (1978) ได้เพิ่มปัจจัยความเค็มมาเป็นตัวแปรอีกอย่างหนึ่งทำให้ทราบว่าร้อยละของการแตกตัวให้ออนไนซ์แอมโมเนียในน้ำทะเล จะมีปริมาณลดลงเมื่อความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่มีผลต่อความเป็นพิษของแอมโมเนีย Markens and Downing (1957) สรุปว่า เมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงความเป็นพิษของแอมโมเนียสูงขึ้น ขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นกลับส่งผลให้ความเป็นพิษของแอมโมเนียลดลงเช่นเดียวกับความเค็มและค่า Lonic Strength ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อละลายน้ำจะได้กรดคาร์บอนิก ซึ่งทำให้ pH ของน้ำลดลงและมีผลต่อเนื่องถึงปริมาณแอมโมเนียอิสระ (Loyd and Herbert, 1960)

6.6 มาตรฐานของแอมโมเนีย

มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 กำหนดให้แหล่งน้ำประเภทที่ 2 ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และเป็นประโยชน์เพื่อการอนุรักษ์สัตว์น้ำ การประมงและกีฬาทางน้ำให้มีปริมาณแอมโมเนียอิสระไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2543)

7. ไนเตรต-ไนโตรเจน (NO_3^- -N)

ไนเตรตเกิดจากการที่สิ่งมีชีวิตปล่อยของเสียที่มีสารประกอบไนโตรเจนออกมา และเมื่อสิ่งมีชีวิตตายลง โปรตีนในสิ่งมีชีวิตจะถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งพืชนำไปใช้ในการสร้างโปรตีนได้ แต่หากมีมากเกินไปความต้องการ แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์ โดยแบคทีเรียไปเป็นไนไตรต์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) ไปเรื่อยๆ

7.1 มาตรฐานของไนเตรต

ระดับความเข้มข้นที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตามปกติไนเตรตจะมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมากในแหล่งน้ำ น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติมีไนเตรตละลายอยู่โดยเฉลี่ยประมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ในแหล่งน้ำที่เป็นแหล่งน้ำกระดังจะมีความเข้มข้นของไนเตรตน้อยกว่าร้อยละ 1 ของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ แต่ในน้ำอ่อนความเข้มข้นของไนเตรต จะมีค่าความเข้มข้นน้อยลงไปอีก ส่วนในน้ำเสียจะมีปริมาณของไนเตรตมากเป็นพิเศษและอาจทำให้เกิดกระบวนการเพิ่มของประชากรของพืชน้ำอย่างเร็วขึ้นได้ (Eutrophication) และเป็นสาเหตุที่ทำให้สัตว์ได้รับ

ผลกระทบจากการลดปริมาณของออกซิเจน ซึ่งความเข้มข้นของไนเตรตในแหล่งน้ำผิวดิน ที่กองจัดการคุณภาพน้ำ กำหนดไว้ไม่ควรมีค่าเกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (สิทธิชัย, 2549)

7.2 ระดับการปนเปื้อนไนเตรตในน้ำดื่ม

ในน้ำผิวดินจะพบไนเตรตในปริมาณน้อย โดยทั่วไปมักต่ำกว่า 1 mg NO₃⁻ -N/L และอย่างสูงก็ไม่เกิน 5 mg NO₃⁻ -N/L แต่สำหรับน้ำใต้ดินอาจมีไนเตรตสูงตั้งแต่ 0 – 1,000 mg NO₃⁻ -N/L ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ ไนเตรตนอกจากเข้าสู่แหล่งน้ำจากการเน่าเปื่อยของสิ่งมีชีวิตแล้วยังมาจากปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตรกรรมและน้ำเสียอีกด้วย (มันสิน, 2540) เมื่อน้ำมีปริมาณการปนเปื้อนไนเตรตสูงขึ้นจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ด้วยเหตุนี้ USEPA (The United States Environmental Protection Agency) และองค์กรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจึงกำหนดค่าการปนเปื้อนไนเตรตในน้ำดื่ม (Sawyer, 1994) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ระดับการปนเปื้อนไนเตรตในน้ำดื่มตามมาตรฐานขององค์กรต่างๆ

มาตรฐาน	เกณฑ์กำหนดสูงสุด Concentration (mg NO ₃ ⁻ -N/L)	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด Concentration (mg NO ₃ ⁻ -N/L)
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (มอก.)	10	10
มาตรฐานน้ำดื่มของสหรัฐอเมริกา (USEPA)	-	10
มาตรฐานของน้ำดื่มของการประปานครหลวงไทย	-	10

ที่มา: ณรงค์ (2540)

7.3 ผลกระทบของไนเตรต

7.3.1 ก่อปัญหายูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)

สารประกอบไนโตรเจนถูกจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญตัวหนึ่งของการเกิดปัญหา ยูโทรฟิเคชัน เช่นเดียวกับฟอสฟอรัส โดยเฉพาะไนเตรตเมื่อถูกระบายน้ำลงสู่แหล่งน้ำทำให้เกิดการ

เจริญเติบโตเกินขีดของสาหร่าย (Algae Bloom) เป็นปัญหาต่อการสัญจรทางน้ำ และการนำน้ำไปใช้ เวลากลางวันสาหร่ายสังเคราะห์แสงและเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ แต่ในเวลากลางคืนสาหร่ายหายใจและอาจใช้ออกซิเจนในน้ำจนหมด ทำให้สัตว์น้ำขาดออกซิเจนและตายได้ นอกจากนี้สาหร่ายที่ตายและทับถมที่พื้นเบื้องล่างเกิดการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้น้ำเน่าเหม็นในที่สุด ซึ่งในเทรตปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้เกิดยูโทรฟิเคชัน ซึ่งเป็นผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำ (ปราณี, 2548)

7.3.2 ผลต่อสุขภาพอนามัย

ในเทรตมีความเข้มข้นสูงที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำได้ดินซึ่งใช้เป็นแหล่งน้ำสำหรับบริโภคจะส่งผลกระทบต่อทารกที่มีอายุน้อยกว่า 3 เดือน คือ จะทำให้เกิดโรค Methemoglobinemia เนื่องจากในเทรตจะไปทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินเกิดเป็นสาร Methemoglobin ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการรับส่งออกซิเจนในเลือด ทำให้เกิดอาการตัวเขียว หรือ Blue Baby และอาจถึงตายได้ นอกจากนี้ยังพบว่าในเทรตถ้าทำปฏิกิริยากับ Amines ก็จะทำให้เกิด Nitrosamines ซึ่งสารก่อมะเร็ง (ธงชัย, 2545)

7.3.3 ความเป็นพิษของในเทรตต่อสัตว์น้ำ

ในเทรตที่มีความเข้มข้นสูงมีพิษต่อปลาบางชนิด เมื่อในเทรตสะสมถึงระดับหนึ่งจะมีผลต่อ Osmoregulation การขนส่งออกซิเจนเป็นพิษต่อดับและอาจทำให้เกิด Methemoglobinemia ในเทรต-ไนโตรเจนเป็นพิษต่อปลาที่ระดับความเข้มข้น 181 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ความเข้มข้น 69 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสาเหตุของ Anorexia และทำให้ปลาติดโรคง่ายขึ้น

8. ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen)

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต ไนโตรเจนในน้ำส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ ทั้งโปรตีนและสารคล้ายโปรตีน ซึ่งบางส่วนจะถูกผู้ย่อยสลายเปลี่ยนให้เป็นสารอนินทรีย์ในไนโตรเจนที่สำคัญ คือ แอมโมเนียม สารอนินทรีย์ไนโตรเจนในระบบนิเวศเริ่มต้นมาจากดิน ซึ่งเป็นแหล่งธาตุอาหารหลักของพืชเพราะรากพืชจะดูดไนโตรเจนไปใช้ได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในรูปของอนินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรต (NO_3^-) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

ไนโตรเจนในน้ำมักพบได้ในรูปของแก๊สไนโตรเจนละลายและสารประกอบไนโตรเจน ซึ่งสารประกอบไนโตรเจนในน้ำ จำแนกได้เป็น 4 ชนิดคือ สารอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรต์ไอออน ซึ่งสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนรูปกลายเป็นแอมโมเนียโดยกระบวนการ แอมโมนิฟิเคชัน แล้วเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันเปลี่ยนรูปต่อไป กลายเป็น ไนไตรต์และไนเตรตไอออนตามลำดับ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด} = \text{สารอินทรีย์ไนโตรเจน} + \text{แอมโมเนีย} + \text{ไนเตรต} + \text{ไนไตรต์}$$

$$\text{หรือ} = \text{สารอินทรีย์ไนโตรเจน} + \text{สารอนินทรีย์ไนโตรเจน}$$

ผลรวมของสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน เรียกว่า ทีเคเอ็นไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen หรือ TKN)

$$\begin{aligned} \text{TKN} &= \text{สารอินทรีย์ไนโตรเจน} + \text{แอมโมเนียไนโตรเจน} \\ \text{ดังนั้น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด} &= \text{ทีเคเอ็นไนโตรเจน} + \text{ไนเตรต} + \text{ไนไตรต์} \end{aligned}$$

การตรวจวิเคราะห์ค่าไนโตรเจนในงานน้ำเสียมักจะวัดอยู่ใน 2 รูปได้แก่ ค่าทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) และค่าไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen, TN) ซึ่งการวัดค่า ทีเคเอ็น จะเป็นการวัดปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนรวมกับแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสีย ส่วนการวัดค่า ไนโตรเจนทั้งหมดจะเป็นการวัดค่าทีเคเอ็นรวมกับปริมาณไนไตรต์และไนเตรตในน้ำเสีย

เมื่อมีการทิ้งสารประกอบไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำ จะพบว่าปริมาณไนเตรตจะเพิ่มขึ้นตามเวลาและระยะทางที่น้ำไหล ในอดีตจึงใช้ปรากฏการณ์นี้ในการวัดความเน่าเสียของลำน้ำ เช่น ถ้าแหล่งน้ำที่มีแอมโมเนียมาก แสดงว่าแหล่งน้ำเพิ่งได้รับการปนเปื้อน แต่ถ้าพบปริมาณไนเตรตสูงมากกว่าตัวอื่นหรือมากผิดปกติ แสดงว่าลำน้ำนั้นเคยได้รับของเสียมาก่อน และได้ฟื้นตัวกลับสู่สภาพเดิม ปริมาณแอมโมเนียและสารอินทรีย์ไนโตรเจนมักจะใช้เป็นดัชนีในการกำหนดคุณภาพในงานน้ำเสียหรือคุณภาพลำน้ำ

สารอินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ ไนโตรเจนที่พบอยู่ในสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น ยูเรีย โปรตีน ถั่วเหลือง และมูลสัตว์ เป็นต้น ในบรรดาสารไนโตรเจนทั้ง 4 ชนิด สารอินทรีย์ไนโตรเจนจัดเป็นรูปรีดิวซ์มากที่สุด ในทางตรงกันข้ามไนเตรตเป็นชนิดที่อยู่ในรูปออกซิไดซ์มากที่สุด เนื่องจากการ

วิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในโตรเจนใช้วิธีที่เรียกว่า Kjeldahl (เจลดาล์) ซึ่งเป็นวิธีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในโตรเจนให้กลายเป็นแอมโมเนียและวิเคราะห์ปริมาณในโตรเจนได้จากแอมโมเนียที่เกิดขึ้น จึงนิยมเรียกผลรวมของสารอินทรีย์ในโตรเจนและแอมโมเนียว่า Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)

$$\text{TKN} = \text{สารอินทรีย์ในโตรเจน} + \text{แอมโมเนียในโตรเจน}$$

9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Aiyuk *et al.* (2004) ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียมในโตรเจนจากน้ำเสียชุมชน โดยการใช้คลินอฟทิลโลไลต์ ซึ่งเป็นซีโอไลต์ตามธรรมชาติ พบว่า ขนาดซีโอไลต์ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 1–2.5 มม. มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียมในโตรเจนได้ดีที่สุด ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมในโตรเจนขึ้นอยู่กับอัตราการไหล อัตราการไหลต่ำประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าอัตราการไหลสูง ประสิทธิภาพจะลดลงร้อยละ 95-47 ตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น และความจุของไอออนบวกในซีโอไลต์

Abdul-Talib *et al.* (2002) ศึกษาสถานะแอนอกซิกในน้ำเสียชุมชนพบว่าที่ความเข้มข้นของไนเตรตมากกว่า $5 \text{ g-NO}_3^-/\text{m}^3$ จะไม่มีผลในการจำกัดอัตราการใช้ไนเตรตในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และพบว่าในสถานะที่มีสารอาหารและไนเตรตเกินพอ อัตราการใช้ไนเตรตจะอยู่ในช่วง $0.8 - 2.0 \text{ g-NO}_3^-/\text{m}^3\cdot\text{h}$

ธนัญชัย (2545) ทำการศึกษาเรื่อง “ศักยภาพของการใช้หญ้าอาหารสัตว์ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี” จากการศึกษาพบว่า ผลผลิตของหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด ได้แก่ หญ้าสตาร์ หญ้าคาล่า และหญ้าโคสโครอส ภายใต้ระบบการให้น้ำแบบไหลต่อเนื่องสูงกว่าระบบการให้น้ำแบบไหลสลับแห้งอย่างเด่นชัด หญ้าอาหารสัตว์ทั้งสามชนิดมีผลผลิตลดลงภายใต้ระบบการให้น้ำแบบไหลสลับแห้ง เมื่อระยะ 45 วัน ในด้านคุณภาพหญ้าอาหารสัตว์ พืชทั้งสามชนิดมีระดับเพียงพอต่อการใช้เลี้ยงโคนม ในขณะที่ฟอสฟอรัสไม่เพียงพอ การสะสมของโลหะหนักอยู่ในระดับต่ำไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์เลี้ยงเอง

อรทัย (2550) ทำการศึกษา “การศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี ด้วยพืชรักษา 3 พันธุ์ ในระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช” จากการศึกษาพบว่า การ

บำบัด BOD ในแปลงที่มีพุทธรักษา 3 พันธุ์ คือ พุทธรักษาต้นสูงใบม่วงดอกแดง พุทธรักษาต้นสูงใบเขียวดอกเหลือง และพุทธรักษาต้นเตี้ยใบเขียวดอกชมพู และดินเปล่า มีประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกันทางสถิติ น้ำเสียชุมชนทำให้การเจริญเติบโตทุกดัชนีที่ศึกษาในพุทธรักษาทั้ง 3 พันธุ์ดีกว่าเมื่อใช้น้ำชลประทานอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ระบบน้ำเสียชุมชนในระบบดินน้ำข้างสลับแห้งร่วมกับพืชจึงน่าจะนำไปใช้ได้กับชุมชนทุกแห่งที่มีสารอินทรีย์เป็นมลสารหลัก

ศิวาพร (2551) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี ด้วยระบบดินน้ำข้างสลับแห้งร่วมกันโสณ จากการทดลองพบว่า ผลการวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจนของน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีก่อนการบำบัดพบว่าส่วนใหญ่มีค่าการกระจายอยู่ในพิสัย $21.6 + 1.7$ มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยโสณ 3 พันธุ์ คือ โสณอัฟริกัน โสณอินเดีย โสณหิน และดินเปล่า พบว่าส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัย $0.9 + 0.1$, $0.9 + 0.1$, $0.9 + 0.1$ และ $1.0 + 0.1$ มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการบำบัดกระจายอยู่ในพิสัย $97.5 + 0.2$, $97.5 + 0.5$, $97.4 + 0.5$ และ $97.3 + 0.3$ ตามลำดับ

ลลิต (2553) ได้ศึกษาถึงการประยุกต์ระบบบึงประดิษฐ์บำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้บัวหลวง และกกลังกา พบว่าความสามารถของกกลังกาและบัวหลวงในการลดค่าสารอินทรีย์ ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และของแข็งทั้งหมด ด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลได้ผิวดินในแนวนอนร่วมกับระบบไหลผิวดิน โดยใช้น้ำเสียจากหอพักนิสิตหญิงและตึกพักบุคลากร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร ประกอบด้วย 3 ชุดการทดลอง คือ บ่อทดลองหลัก บ่อควบคุมการทดลอง โดยบ่อควบคุมจะแบ่งเป็นบ่อปลูกพืชและไม่ปลูกพืช อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบ่อทดลองหลักเป็น 400 ลิตร ต่อวัน โดยทั้ง 3 ชุดการทดลองจะควบคุมระยะเวลาเก็บเท่ากับที่ 3 วัน ซึ่งทั้ง 3 ชุดการทดลองนี้ ดำเนินการทดลองระบบไปพร้อมกับบ่อควบคุมการทดลอง

จากผลการศึกษาพบว่า ระบบบึงประดิษฐ์ของทั้ง 3 ชุดการทดลองนั้นมีประสิทธิภาพโดยรวมค่อนข้างดี โดยประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีของบ่อทดลองหลัก บ่อควบคุมที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช เท่ากับ 94.66, 95.40 และ 94.49 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 85.42, 86.26 และ 83.72 ประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นเท่ากับ 77.12, 81.25 และ 77.62 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสโดยรวม เท่ากับ 64.24, 69 และ 64.95 จากผลการทดลองพบว่าระบบบ่อควบคุมที่มีพืชให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ส่วนบ่อทดลองหลักและบ่อควบคุมให้ประสิทธิภาพการกำจัดที่ใกล้เคียงกันมาก

ประภาภรณ์ (2543) ได้ศึกษาถึงรูปของแอมโมเนียในดินจากการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีพืชกรองน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณแอมโมเนียมรูปต่างๆ ในดินที่ปลูกพืชชนิดต่างๆ และแปลงไม่ปลูกพืชมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณแอมโมเนียมรูปต่างๆ มีมากที่สุดที่ดินของแปลงควบคุม และเป็นระบบเปิด และปริมาณน้อยที่สุดพบในดินที่ปลูกหญ้าสตาตาร์ และหญ้าโคสโครอส ปริมาณแอมโมเนียมรูปต่างๆ ที่ระยะต่างๆ ในแต่ละแปลงก็มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปริมาณสูงสุดจะพบที่ระยะทาง 100 เมตร และน้อยที่สุดที่ระยะทาง 40 เมตร และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุด พบในดินที่ปลูกหญ้าคาล่า และน้อยที่สุดพบในดินที่ปลูกหญ้าสตาตาร์ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบมากที่สุดที่ระยะทาง 60 เมตร และน้อยที่สุดที่ระยะทาง 100 เมตร ของแต่ละแปลง จากการทดลองนี้อาจสรุปได้ว่าหญ้าสตาตาร์ดูดกินแอมโมเนียมรูปที่ละลายน้ำได้มากที่สุด และหญ้าโคสโครอสดูดกินแอมโมเนียมรูปต่างๆ มากที่สุด

Oh, Yoon *et al.* (2000) ศึกษาเรื่องดีไนทริฟิเคชัน Submerged Biofilters ที่ความเข้มข้นของไนเตรดในน้ำเสียต่างกัน ระยะเวลาเก็บกัก 2 และ 4 ชม. พบว่า Critical Point ของ Volumetric Loading rate เท่ากับ $9 \text{ kg NO}_3\text{-N/m}^3\text{-d}$

กุลภักดิ์ (2543) ได้ศึกษาถึงการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยกระบวนการทางเคมี (Municipal Wastewater Treatment by Chemical Precipitation) จากผลการทดลองพบว่า สาร Coagulant ทั้งสามชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัด TP, BOD, COD และ SS ได้ดี โดยอยู่ระหว่างร้อยละ 90-94, 64-85, 41-69 และ 20-52.9 ตามลำดับ ขณะที่ประสิทธิภาพในการการบำบัดค่า TKN และผลกระทบทันทีมีต่อค่า pH ร้อยละ 11-17 และ 6-12 ตามลำดับ จากการทดลอง Ferrie Chloride จะมีประสิทธิภาพในการบำบัด SS ได้ดีที่สุด (ร้อยละ 91 ที่ความเข้มข้น 220 มิลลิกรัมต่อลิตร) ขณะที่ PAC จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัด COD และให้ปริมาณ Sludge ได้สูงสุดหรือร้อยละ 51 โดยใช้ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตรและร้อยละ 11 ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และจากข้อมูลที่ได้ทำให้ทราบว่าความเข้มข้นของ Alum, PAC และ Ferrie Chloride ที่มีค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมสูงสุดคือ 140, 25 และ 180 มิลลิกรัมต่อลิตร และคิดเป็นค่าใช้จ่ายในด้านของสารเคมี (Industrial Grade) ที่ใช้ในกระบวนการบำบัดต่อน้ำเสียหนึ่งลูกบาศก์เมตรเป็นจำนวนเงิน 1.41 บาท, 0.65 บาทและ 20.07 บาท ตามลำดับ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

- 1.1 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น WB-0250003 บริษัท KERN & Sohn Gmbh
- 1.2 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 2 ตำแหน่ง รุ่น PB-1501 บริษัท Mettler Toledo
- 1.3 เครื่องยววิ-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)
- 1.4 เครื่องวิเคราะห์ Total Kjeldahl Nitrogen รุ่น D-40599 บริษัท Behr Labor-Technik Gmbh
- 1.5 เครื่องปั่นผสม (Vortex mixer) บริษัท Gemmy Industrial
- 1.6 เครื่องมือที่ใช้ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ประกอบด้วย DO-Meter, pH-Meter, Turbidify-Meter, Digital TDS-Meter and EC-Meter
- 1.7 ตู้ดูดความชื้น (desicater)
- 1.8 อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

2. สารเคมี

2.1 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน

- 2.1.1 แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride, NH_4Cl) Grade AR
- 2.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) Grade AR
- 2.1.3 โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium hypochlorite, NaOCl) Grade AR
- 2.1.4 โซเดียมซาลิไซเลต (Sodium salicylate, $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COONa}$) Grade AR
- 2.1.5 โซเดียมไนโตรพรัสไซด์ (Sodium nitroprusside, $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) Grade

AR

2.2 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ไนเตรต-ไนโตรเจน

- 2.2.1 โพแทสเซียมไนเตรต (Potassium nitrate, KNO_3) Grade AR
- 2.2.2 กรดซัลฟานิลิก (Sulphanilic acid, $\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$) Grade AR

2.2.3 กรดซิตริก (Citric acid monohydrate, $C_6H_{10}O_8$) Grade AR

2.2.4 ผงสังกะสี (Zinc powder, ZN) Grade AR

2.2.5 อีดีทีเอ (Ethylenediaminetetra acetic acid di-sodium Salt, $C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$)

Grade AR

2.2.6 แมงกานีสซัลเฟต (Manganese (II) Sulphate monohydrate, $MnSO_4 \cdot H_2O$)

Grade AR

2.2.7 แอลฟาแนฟทิลอะมีน (Alpha-naphthylamine, $C_{10}H_9N$) Grade AR

2.3 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ที่เคอื่น

2.3.1 โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulfate, K_2SO_4) Grade AR

2.3.2 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper (II) sulfate, $CuSO_4$) Grade AR

2.3.3 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, conc. H_2SO_4) Grade AR

2.3.4 ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein, $C_{20}H_{14}O_4$) Grade AR

2.3.5 แอลกอฮอล์ (Alcohol, CH_3OH) Grade AR

2.3.6 เมทิลเรด (Methyl Red, $C_{15}H_{15}N_3O_2$) Grade AR

2.3.7 เมทิลีนบลู (Methylene Blue, $C_{16}H_{18}N_3S \cdot 2H_2O$) Grade AR

2.3.8 เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol, C_2H_5OH) Grade AR

2.3.9 กรดบอริก (Boric Acid, H_3BO_3) Grade AR

2.3.10 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) Grade AR

2.3.11 โซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate, $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) Grade AR

วิธีการ

1. การเตรียมสารละลาย

1.1 สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

1.1.1 สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (1,000 ppm)

ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.9548 กรัม ด้วยน้ำกลั่น และเจือจางด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร

1.1.2 สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (100 ppm)

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่เตรียมได้จากข้อ 1.1.1 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

1.1.3 สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (50 ppm)

สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่เตรียมได้จากข้อ 1.1.2 ปริมาตร 500 มิลลิลิตร มาเจือจางด้วยน้ำกลั่น (de-ionized) จนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไฮโปคลอไรท์รีเอเจนท์ (Sodium hydroxide-Sodium hypochlorite reagent)

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10.0 กรัม ละลายในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 125 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.3 สารละลายโซเดียมซาลิไซเลต (Sodium Salicylate Solution)

ซังโซเดียมซาลิไซเลต 8.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.4 สารละลายโซเดียมไนโตรปริสไซด์ (Sodium Nitroprusside Solution)

ซังโซเดียมไนโตรปริสไซด์ 0.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เก็บในขวดสีชา (เก็บได้นาน 1 เดือน)

1.5 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรด-ไนโตรเจน เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซังผลึกโพแทสเซียมไนเตรด 0.7218 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกระดับ เขย่าให้เข้ากัน

1.6 สารละลายกรดซิดริกเข้มข้น 50% W/V

ซังกรดซิดริก 50.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.7 ผงผสมระหว่างกรดซัลฟานิค, แมงกานีสซัลเฟต, ผงสังกะสี, อีดีทีเอ และแอลฟาแนฟทิลลามีน

ซังกรดซัลฟานิค 8.0 กรัม, แมงกานีสซัลเฟต 20.0 กรัม, ผงสังกะสี 1.0 กรัม, อีดีทีเอ 2.0 กรัม และแอลฟา-แนฟทิลละมีน 1.0 กรัม นำสารที่ซังได้แต่ละตัวมาบดให้ละเอียด จากนั้นนำสารทั้งหมดมาผสมกันและบดให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน เก็บในขวดที่แห้งและปิดสนิท (ศิริพร, 2554)

1.8 น้ำย่าย่อยสลาย

ชั่งโพแทสเซียมซัลเฟต 134.0 กรัม และซังคอปเปอร์ซัลเฟต ละลายในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร และเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 134 มิลลิลิตร ทำให้เย็น จากนั้นเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตร เป็น 1 ลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการตกผลึก

1.9 ฟีนอล์ฟธาเลอินอินดิเคเตอร์

ชั่งฟีนอล์ฟธาเลอิน 0.5 กรัม แล้วนำไปละลายในแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำ กลั่นปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

2.0 สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator solution)

ชั่ง เมทิลเรด 1.0 กรัม โดยละลายใน เอทิลแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร และชั่งเมทิลินบลู 0.5 กรัม โดยละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ 25 มิลลิลิตร จากนั้นเทสารละลายทั้ง 2 ชนิดผสมกัน เก็บ ในขวดแก้ว

2.1 สารละลายอินดิเคเตอร์กรดบอริก (Indicator Boric Acid Solution)

ชั่งกรดบอริก 20.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น เติมสารละลายอินดิเคเตอร์ผสม 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไฮโอซัลเฟต

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500.0 กรัม และชั่งโซเดียมไฮโอซัลเฟต 25.0 กรัม ละลายใน น้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2.3 สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.02 นอร์มอล

ปิเปตสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.54 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร เจือจางจนถึงปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและไนเตรต-ไนโตรเจน

2.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

ปีเปตสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมไว้ในข้อ 1.1.2 ปริมาตรต่างๆ กัน ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจะได้สารละลายมาตรฐาน แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่ความเข้มข้นต่างๆ กันดังตารางที่ 6 ปีเปตสารละลายมาตรฐาน แอมโมเนีย-ไนโตรเจน แต่ละความเข้มข้นมา 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แต่ละใบ เติมสารละลายโซเดียมซัลไฟโซลด์ 1 มิลลิลิตร สารละลายโซเดียมไนโตรปริสไซค์ 1 มิลลิลิตร หยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไฮโปคลอไรท์รีเอเจนท์ 5 หยด ทิ้งไว้นาน 15 นาที และเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตร (ดัดแปลงจากวิธีพีเน็ต) เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร เขียนกราฟมาตรฐานโดยแทนที่ค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้ ส่วนแกนแนวนอนแทนค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน แอมโมเนีย-ไนโตรเจน คำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้น และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ตารางที่ 6 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)	ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย- ไนโตรเจน 100 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ใช้ (มิลลิลิตร)
1.0	0.5
5.0	2.5
10.0	5.0
15.0	7.5
20.0	10.0

2.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานไนเตรต-ไนโตรเจน

2.2.1 ปีเปตสารละลายมาตรฐานไนเตรต-ไนโตรเจน เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมไว้ในข้อ 1.5 ปริมาตร 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0, 30.0, 35.0, 40.0, 45.0 และ 50.0 มิลลิลิตรลง

ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แต่ละใบ ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของไนเตรต-ไนโตรเจน เท่ากับ 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0, 30.0, 35.0, 40.0, 45.0 และ 50.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับดังตารางที่ 7

2.2.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนเตรต-ไนโตรเจน แต่ละความเข้มข้นอย่างละ 10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองแต่ละหลอด เติมสารละลายกรดซัลฟริก 50 % W/V 0.5 มิลลิลิตร ที่เตรียมไว้ในข้อ 1.6 และผสม 3 ซ้อนที่เตรียมไว้ในข้อ 1.7 เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่า ทั้งไว้ 30 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายเบลงค์ที่ใช้ น้ำกลั่นแทนสารละลายไนเตรต เขียนกราฟมาตรฐานโดยแทนค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้ ส่วนแกนแนวนอนแทนค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ไนเตรต-ไนโตรเจน คำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้น และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ตารางที่ 7 ปริมาตรสารละลายมาตรฐานไนเตรต-ไนโตรเจนที่ใช้เตรียมสารละลายมาตรฐาน ไนเตรต-ไนโตรเจนความเข้มข้น 5-50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ไนเตรต-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)	ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน ไนเตรต- ไนโตรเจน 100 มิลลิกรัม/ลิตร
5.0	5.0
10.0	10.0
15.0	15.0
20.0	20.0
25.0	25.0
30.0	30.0
35.0	35.0
40.0	40.0
45.0	45.0
50.0	50.0

3. การศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบหญ้ากรองน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

ศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบหญ้ากรองน้ำเสียและสำรวจแปลงพืช 4 แปลง ในระบบหญ้ากรองน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ได้แก่ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่า หญ้าดึกซี และแปลงควบคุม ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แปลงหญ้ากรองน้ำเสีย หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่า หญ้าดึกซี และแปลงควบคุม

4. การเก็บน้ำตัวอย่างและการวิเคราะห์

4.1 ระยะเวลาเก็บน้ำตัวอย่าง

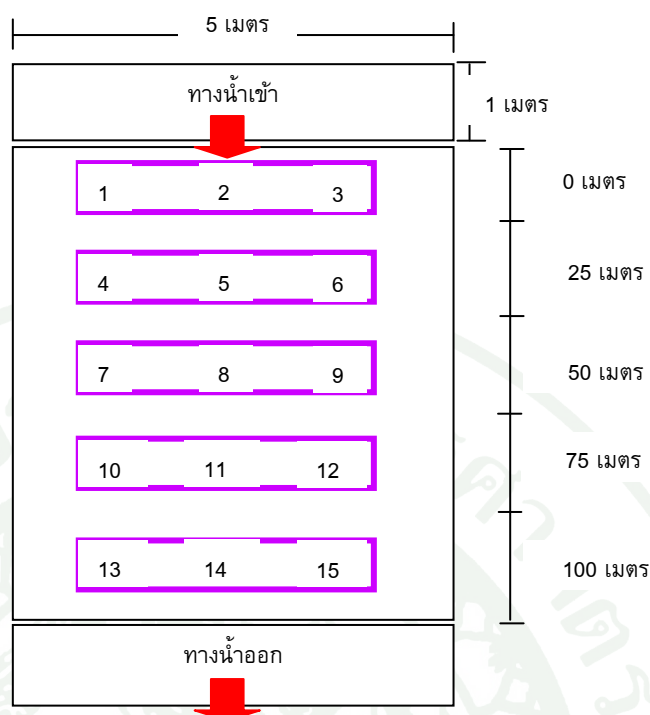
ทำการเก็บน้ำตัวอย่างโดยอ้างอิงจากกรมอุตุนิยมหาวิทยาลัยซึ่งแบ่งเป็น 2 ช่วงคือ
ฤดูฝน เก็บน้ำตัวอย่างในช่วงเดือน พฤษภาคม-มิถุนายน เดือนละ 2 ครั้ง
ฤดูแล้ง เก็บน้ำตัวอย่างในช่วงเดือน มีนาคม-เมษายน เดือนละ 2 ครั้ง

4.2 จุดเก็บน้ำตัวอย่าง

จุดเก็บน้ำตัวอย่างแบ่งได้เป็นสองข้อ ดังนี้

4.2.1 เก็บน้ำตัวอย่างจากปอดตกตะกอนที่รวบรวมจากน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ก่อนปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ และน้ำที่ออกจากแปลงบำบัดด้วยพืชรากสั้น ทั้งหมด 4 แปลง คือ หญ้าสตาว์ หญ้ากาลล่า หญ้าดึกชีและแปลงควบคุม ดังภาพที่ 8 เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้น เช่น อุณหภูมิ, ความเป็นกรดด่าง (pH), ค่าการนำไฟฟ้า (EC, $\mu\text{s}/\text{cm}$), ความเค็ม (ppt), ของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (TDS, มิลลิกรัมต่อลิตร), ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO, มิลลิกรัมต่อลิตร), ซีโอดี (COD, มิลลิกรัมต่อลิตร) และบีโอดี (BOD, มิลลิกรัมต่อลิตร) และวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย – ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน และทีเคเอ็น

4.2.2 เก็บน้ำตัวอย่างโดยเก็บน้ำจากท่อ PVC ทั้งหมด 4 แปลง แปลงละ 15 จุด ดังภาพที่ 8 และ 9 ขึ้นมาล้างภาชนะบรรจุตัวอย่างก่อน แล้วจึงบรรจุตัวอย่างให้เต็มขวด ปิดฝาให้สนิท ปิดฉลากให้เรียบร้อย นำไปแช่น้ำแข็ง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน และทีเคเอ็น ในห้องปฏิบัติการ (ควรทำการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน ภายในเวลา 1-2 วัน เนื่องจากอาจเกิดการสลายตัวได้)



ภาพที่ 8 ลักษณะพื้นที่และจุดเก็บตัวอย่างน้ำของระบบหญ้ากรองน้ำเสีย



ภาพที่ 9 จุดเก็บน้ำตัวอย่างจากท่อพีวีซีทั้งหมด 15 จุดในแต่ละแปลง

5. การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน และทีเคเอ็นในน้ำตัวอย่าง

5.1 การวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน

ปิเปตน้ำตัวอย่างมา 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 เดิมสารละลายโซเดียมซาลีไซเลต 1 มิลลิลิตร สารละลายโซเดียมไนโตรปริสไซด์ 1 มิลลิลิตร หยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไฮโปคลอไรท์เรเจนท์ 5 หยด ทิ้งไว้นาน 15 นาที และเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตร (ดัดแปลงจากวิธีพีเนต) เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ 650 นาโนเมตร

5.2 การวิเคราะห์ไนเตรต-ไนโตรเจน

ปิเปตน้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง เดิมสารละลายกรดซัลฟริก 50 % W/V 0.5 มิลลิลิตร เดิมผงผสม 3 ซ้อน นำเข้าเครื่องเขย่าประมาณ 1 นาที 15 วินาที ทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ 530 นาโนเมตร

5.3 การวิเคราะห์ปริมาณทีเคเอ็น

5.3.1 ขั้นตอนการย่อยสลาย (Digestion Step)

ตวงน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดเจลด้าห์ลขนาด 500 มิลลิลิตร และน้ำยาย่อยสลาย 20 มิลลิลิตร นำไปต้มบนเครื่องย่อยสลาย จนกระทั่งสารละลายใส (หรือมีสีฟ้าซีดๆ) ให้ทำการย่อยสลายต่ออีก 30 นาที แล้วทิ้งให้เย็น ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 เครื่องมือวิเคราะห์ที่เคเอ็น

5.3.2 ขั้นตอนการกลั่น (Distillation Step)

เมื่อสารละลายที่ได้จากการย่อยในข้อ 5.3.1 เสร็จ เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และเติมฟีนอล์ฟธาไลน์อินดิเคเตอร์ 3 หยด เขย่า จากนั้นเอียงขวดเจลาห์ลค่อยๆ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไฮโอซัลเฟตลงไป 20 มิลลิลิตร เพื่อให้เกิดชั้นต่างที่กั้นขวดเจลาห์ล ดังภาพที่ 11 นำเข้าเครื่องกลั่นเพื่อกลั่นแยกแอมโมเนีย โดยปลายหลอดที่ต่อจากเครื่องควบแน่นจุ่มลงในฟลาสที่รองรับมีสารละลายอินดิเคเตอร์กรดบอริกอยู่ 50 มิลลิลิตร ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 11 ขั้นตอนการเกิดชั้นต่างที่กั้นขวดเจลาห์ล



ภาพที่ 12 เครื่องกลั่นเพื่อกลั่นแยกแอมโมเนีย

5.3.3 ขั้นตอนการไทเทรต (Titration Step)

ไทเทรตด้วยสารละลายที่กลั่นด้วยกรดซัลฟิวริก 0.02 โมล จนกระทั่งสารละลายเป็นสีม่วงอ่อน

6. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

7. ระยะเวลาในการทดลอง

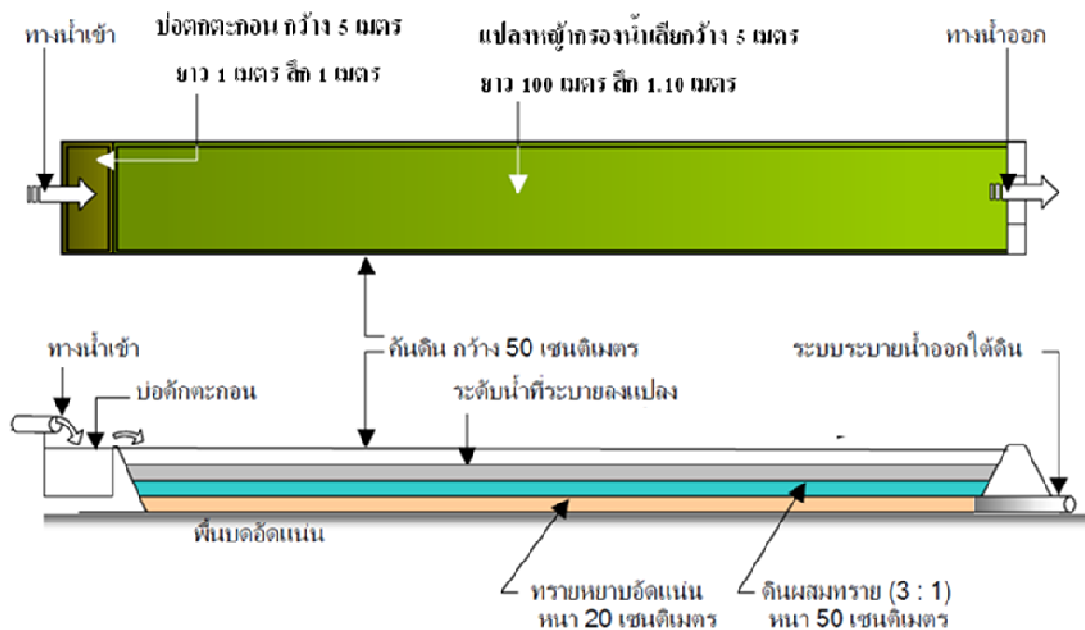
ระยะเวลาที่ทำทดลอง 12 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2555 และสิ้นสุดการทดลองในเดือน เมษายน พ.ศ. 2556

ผลและวิจารณ์

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเตรต-ไนโตรเจน ที่เคเอ็น และอินทรีย์-ไนโตรเจน ในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรีที่ผ่านระบบหน่วยกรองน้ำเสียของแปลงพืชรากสั้นโดยศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบหน่วยกรองน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงและการบำบัดไนโตรเจนคือ ฤดูกาลในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง, ชนิดพืชรากสั้น ได้แก่ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่า และหญ้าค้ำชี และระยะทางที่น้ำไหลผ่านแปลงพืชแต่ละแปลงที่ระยะห่าง 0, 25, 50, 75 และ 100 เมตร ซึ่งได้ผลการศึกษาดังนี้

1. ผลการศึกษาระบบหน่วยกรองน้ำเสีย

ระบบหน่วยกรองน้ำเสียประกอบด้วย บ่อตกตะกอน กว้าง 5 เมตร ยาว 1 เมตร ลึก 1 เมตร เพื่อกักเก็บน้ำเสียที่รวบรวมจากชุมชนเมืองเพชรบุรี และแปลงพืชหน่วยกรองน้ำเสีย มีขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 100 เมตร ลึก 1.10 เมตร พื้นดินเป็นดินอัดแน่น ปรับพื้นที่ให้มีความลาดชัน 1:1000 และรองพื้นด้วยทรายหยาบสูง 20 เซนติเมตรเสมอกันทั้งแปลง และปรับให้พื้นทรายด้านบนมีความลาดชัน 1:1000 เพื่อให้ น้ำไหลในอัตราที่เหมาะสม ดินที่ใช้ส่วนบนเป็นดินผสม ซึ่งเป็นสัดส่วน ดิน: ทราย 3:1 และมีความหนา 50 เซนติเมตรเท่ากันทั้งแปลง ดังรูปที่ 13 ซึ่งได้ทำการปลูกพืชรากสั้น 3 ชนิด ได้แก่ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่า และหญ้าค้ำชี ส่วนในแปลงควบคุมไม่มีการปลูกพืช ดังรูปที่ 14, 15, 16 และ 17 โดยในแต่ละแปลงมีจุดเก็บน้ำตัวอย่างทั้งหมด 15 จุด ซึ่งวิธีการบำบัดทำโดยการปล่อยน้ำเสียทิ้งไว้ 5 วัน ระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดออกทางระบายน้ำใต้ดินสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ แล้วปล่อยให้แห้ง 2 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์ในดินได้พักตัว จึงเติมน้ำเสียใหม่ลงสู่แปลงบำบัดต่อไป



ภาพที่ 13 ลักษณะรูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2551)



ภาพที่ 14 แปลงหญ้ากรองน้ำเสียของฟิซรากสั้น หญ้าสตาร์



ภาพที่ 15 แปลงหญ้ากรองน้ำเสียของพีชราภรณ์ หญ้าคาล่า



ภาพที่ 16 แปลงหญ้ากรองน้ำเสียของพีชราภรณ์ หญ้าคาล่า



ภาพที่ 17 แปลงหญ้ากรองน้ำเสียของแปลงควบคุม

2. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

การวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำตามวิธีการที่กำหนดไว้ใน Standard Method for Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WEF, 1995) โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสีย 2 จุดสุกัล คือ จุดต้นและจุดปลาย ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้นของน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียในฤดูฝนและฤดูแล้ง

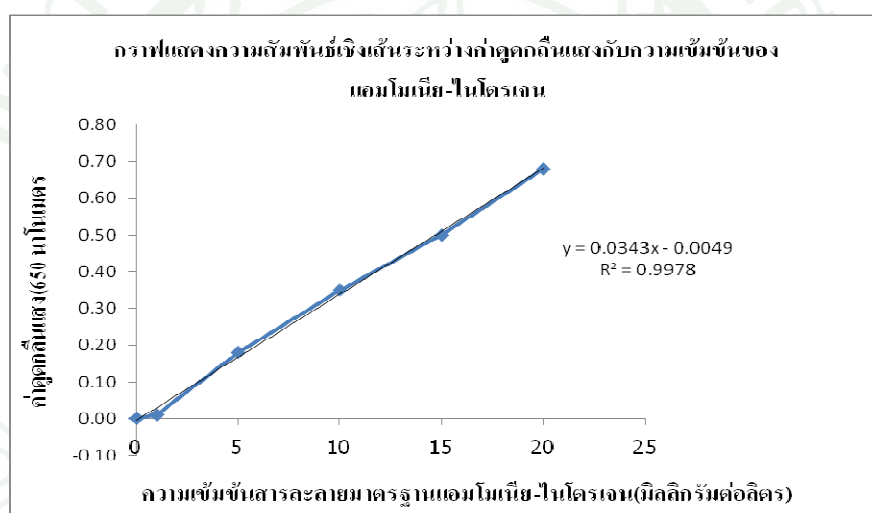
ฤดูกาล	แปลงพืช	ค่าการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้น							
		อุณหภูมิ (°C)	pH	EC (μS/cm)	Salinity (ppt)	TDS (mg/l)	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)
ฤดูฝน น้ำก่อนเข้า ระบบบำบัด	บ่อ	31.4	7.5	870.0	0.2	577.1	2.0	48.3	134
	ตกตะกอน								
น้ำออกจาก ระบบบำบัด	หญ้าสดาร์	31.3	6.8	1115.0	0.3	726.0	6.2	14.4	91
	หญ้าคาล่า	31.1	6.7	1690.0	0.8	1216.0	7.2	13.6	79
	หญ้าคี้กชี	30.5	6.6	1623.0	0.9	1046.0	4.1	15.9	85
	ควบคุม	34.3	7.3	956.0	0.3	620.0	6.0	22.3	105
ฤดูแล้ง น้ำก่อนเข้า ระบบบำบัด	บ่อ	34.8	7.2	913.0	0.2	565.9	2.5	45.3	118
	ตกตะกอน								
น้ำออกจาก ระบบบำบัด	หญ้าสดาร์	37.4	7.0	3461.5	0.5	971.0	6.2	13.2	94
	หญ้าคาล่า	37.0	8.0	2393.5	0.7	1056.5	7.2	12.9	76
	หญ้าคี้กชี	35.3	7.2	1860.0	0.5	890.5	5.2	14.5	83
	ควบคุม	36.5	7.4	1395.0	0.2	562.0	6.5	17.3	87

จากผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้น ของน้ำก่อนเข้าระบบบำบัดและน้ำออกจากระบบบำบัดดังตารางที่ 8 พบว่า ในช่วงฤดูแล้ง ตัวอย่างน้ำจากทุกจุดที่เก็บมีอุณหภูมิสูงกว่าในช่วงฤดูฝน แต่ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส ที่มาตรฐานกำหนด(กรมควบคุมมลพิษ, 2538) เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากในฤดูฝนและแสงแดดที่มีมากในช่วงฤดูแล้ง ส่วนพีเอชมีค่า อยู่ในช่วง 6.6-8.0 ไม่เกินเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (pH 5.5-9.0) (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) เช่นกัน โดยทั้งสองฤดูกาลมีค่าพีเอชที่ใกล้เคียงกันแสดงว่าแปลงพืชไม่ได้มีผลต่อค่าพีเอชหรือระบบบำบัด แต่ข้อด้อยของระบบบำบัดคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่าการนำไฟฟ้า ความเค็มและของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูงกว่าน้ำเสียก่อนผ่านการบำบัด อาจเนื่องมาจากน้ำเสียได้ชะล้างสิ่งเจือปนออกมาจากชั้นวัสดุปลูกด้วย ซึ่งวัสดุปลูกเป็นดินนาผสมทราย จึงมีองค์ประกอบของเกลืออยู่สูง แต่ระบบบำบัดนี้สามารถช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำได้ดีจากน้ำเสียก่อนเข้าระบบที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ประมาณ

<2-3 มิลลิกรัมต่อลิตร และออกจากระบบมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้นเป็น >4-7 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังสามารถบำบัดสารอินทรีย์ทั้งในรูปบีโอดีและซีโอดีได้ดี โดยเฉพาะในรูปของบีโอดีดีกว่าซีโอดี แต่จะเห็นได้ว่าฤดูกาลไม่มีผลต่อการบำบัดพารามิเตอร์เบื้องต้นของน้ำ

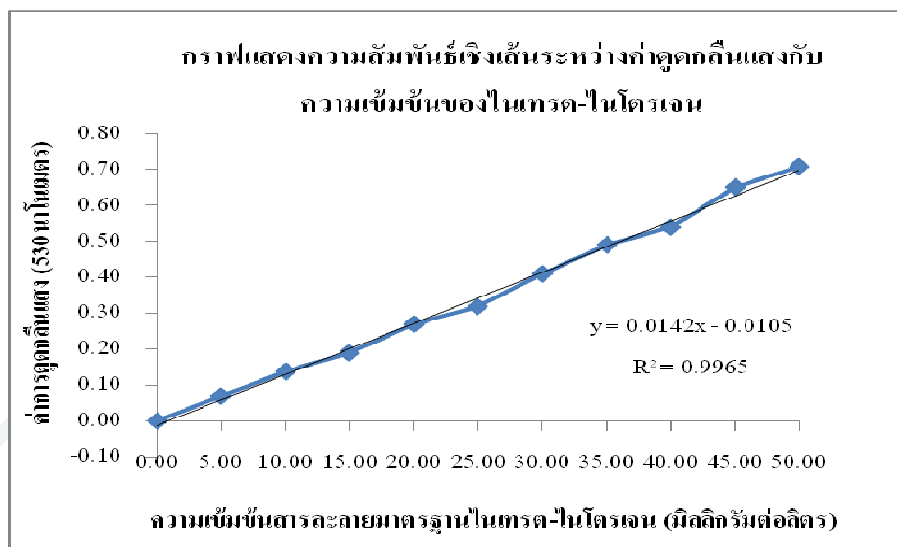
3. กราฟมาตรฐาน

กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังภาพที่ 18 สมการถดถอยเชิงเส้นคือ $y = 0.0343x - 0.0049$ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) เท่ากับ 0.9978 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.995-1.000)



ภาพที่ 18 กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

กราฟมาตรฐานไนเตรต-ไนโตรเจน ที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังภาพที่ 19 สมการถดถอยเชิงเส้นคือ $y = 0.0142x - 0.0105$ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) เท่ากับ 0.9965 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.995-1.000)



ภาพที่ 19 กราฟมาตรฐานไนเตรด-ไนโตรเจน

4. ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเตรด-ไนโตรเจน ทีเคเอ็น และอินทรีย์ไนโตรเจน โดยได้ผลการวิเคราะห์ คือ น้ำก่อนเข้าระบบบำบัด(บ่อดักตะกอน) มีปริมาณไนโตรเจนใน 4 รูป เท่ากับ 0.56, 0.05, 17.64 และ 17.08 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ในช่วงฤดูฝน และเท่ากับ 0.60, 0.05, 20.44 และ 19.84 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ในช่วงฤดูแล้ง เนื่องจากน้ำเสียชุมชนได้ไหลรวมมาตามท่อโดยไม่มีน้ำฝนปะปนมาด้วย ทำให้น้ำก่อนเข้าระบบมีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองฤดูกาล และปริมาณไนโตรเจนของน้ำออกจากระบบบำบัดจะเห็นได้ว่าในช่วงฤดูฝนมีปริมาณไนโตรเจนในทุกรูปต่ำกว่า เนื่องจากฤดูฝนมีน้ำฝนเติมลงมาในบ่อดักตะกอนก่อนเข้าแปลงจึงทำให้ความเข้มข้นเจือจางดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ปริมาณไนโตรเจนของน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียในฤดูฝน และฤดูแล้ง

ฤดูกาล	น้ำเข้า/ ออก	แปลงพืช	ปริมาณไนโตรเจน			อินทรีย์ ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ ลิตร)
			แอมโมเนีย- ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไนเตรต- ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)	ทีเคเอ็น (มิลลิกรัม/ลิตร)	
ฤดูฝน	น้ำออก จากระบบ บำบัด	หญ้าสดาร์	0.10	0.02	2.36	2.26
		หญ้าคาล่า	0.15	0.03	3.79	3.64
		หญ้าคักชี	0.24	0.02	5.10	4.86
		ควบคุม	0.43	0.11	8.96	8.53
ฤดู แล้ง	น้ำออก จากระบบ บำบัด	หญ้าสดาร์	0.12	0.01	3.38	3.26
		หญ้าคาล่า	0.18	0.02	6.08	5.9
		หญ้าคักชี	0.27	0.03	7.97	7.7
		ควบคุม	0.41	0.08	13.57	13.16

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน, ทีเคเอ็น และ อินทรีย์-ไนโตรเจน ของน้ำก่อนเข้าระบบบำบัดทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง มีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และ ทีเคเอ็นเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด (0.5 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ) ส่วนไนเตรต-ไนโตรเจนไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด (5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร) (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) อาจเนื่องมาจากไนเตรต-ไนโตรเจนเป็นผลจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะเกิดขึ้นในลำดับต่อไป ส่วนน้ำออกจากระบบบำบัด ปริมาณไนโตรเจนในทุกกรณีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นแปลงควบคุมซึ่งมีปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน มากกว่าในน้ำก่อนเข้าระบบและปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงกว่าแปลงอื่นเนื่องจาก แปลงควบคุมไม่มีการปลูกพืชจึงไม่มีการนำแอมโมเนียและไนเตรตไปใช้นอกจากนี้ค่าทีเคเอ็นมีค่าสูงกว่าแปลงอื่นเช่นกัน เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในวัฏจักรไนโตรเจนไม่อยู่ในภาวะสมดุล

5. ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดปริมาณไนโตรเจนของแปลงพืชรากสั้นด้วยระบบหมักกรองน้ำเสีย

1. ฤดูกาล

จากการศึกษาโดยวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย ในเทรตและทีเคเอ็นในน้ำตัวอย่างก่อนเข้าแปลงและที่ผ่านการบำบัดด้วยแปลงพืช 3 ชนิด คือ หนุ่ยสวรรค์ หนุ่ยคาล่า หนุ่ยดึกชี และแปลงควบคุม ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ร้อยละการบำบัดไนโตรเจนของน้ำเสียหลังผ่านระบบบำบัดหมักกรองน้ำเสียของแปลงพืชแต่ละแปลงในฤดูฝนและฤดูแล้ง

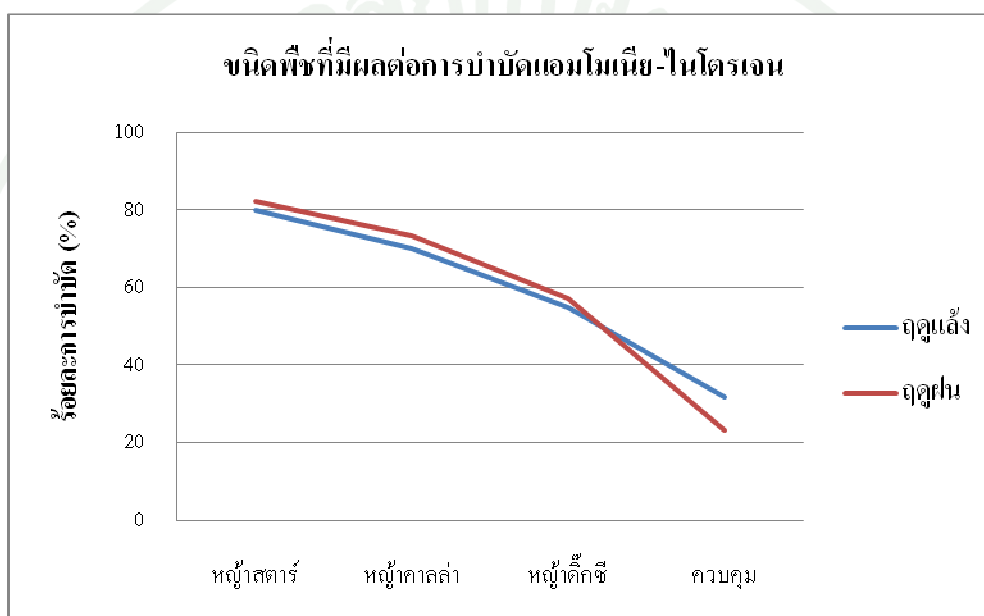
ฤดูกาล	แปลงพืช	ร้อยละการบำบัดไนโตรเจน			
		แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	ไนเทรต-ไนโตรเจน	ทีเคเอ็น	อินทรีย์ไนโตรเจน
ฤดูฝน	หนุ่ยสวรรค์	82.14	60.00	86.62	86.77
	หนุ่ยคาล่า	73.21	40.00	78.51	78.69
	หนุ่ยดึกชี	57.14	60.00	71.09	71.55
	ควบคุม	23.21	-120.00*	49.21	50.06
ฤดูแล้ง	หนุ่ยสวรรค์	80.00	80.00	83.46	83.57
	หนุ่ยคาล่า	70.00	60.00	70.25	70.26
	หนุ่ยดึกชี	55.00	40.00	61.01	61.19
	ควบคุม	31.67	-60.00*	33.61	33.67

หมายเหตุ * ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจนของน้ำออกมีค่ามากกว่าน้ำเข้า

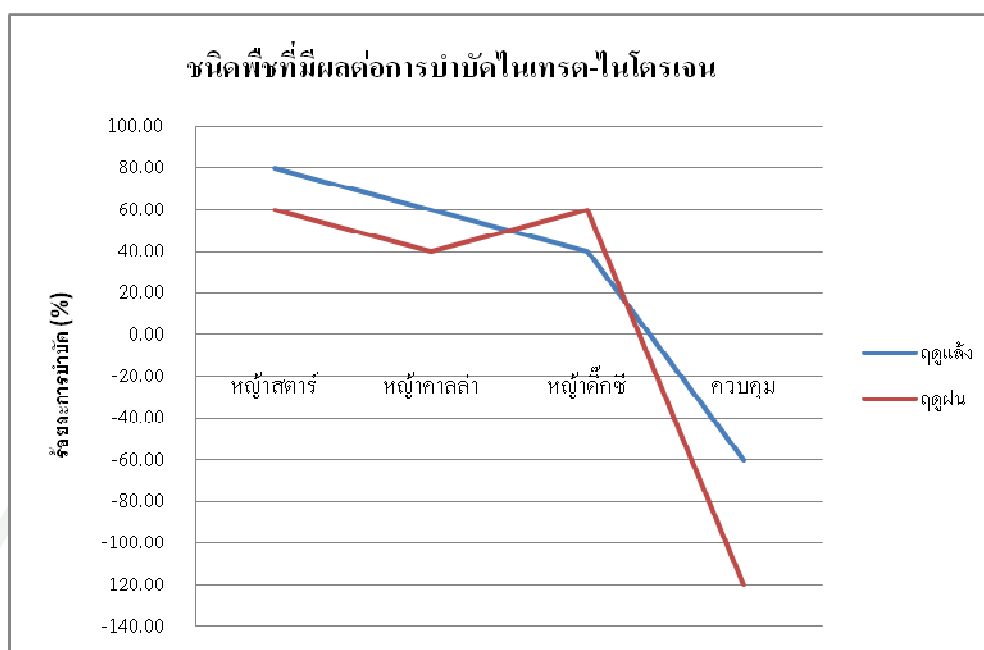
พบว่า ในทั้งสองฤดูกาล แปลงพืชแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัด แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเทรต-ไนโตรเจน, ทีเคเอ็นและอินทรีย์-ไนโตรเจนได้ใกล้เคียงกัน แสดงว่า ฤดูกาลไม่มีผลต่อการบำบัดไนโตรเจนของระบบบำบัดหมักกรองน้ำเสียที่ปลูกพืชรากสั้น ยกเว้นแต่แปลงควบคุมที่ไม่มีการปลูกพืช สามารถบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ทีเคเอ็น และอินทรีย์ไนโตรเจนได้ในระดับที่ต่ำกว่า เนื่องจากชั้นวัสดุปลูกที่ทำหน้าที่เป็นชั้นกรอง และการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน แต่แปลงควบคุมไม่มีพืชที่ดูดไนเทรต-ไนโตรเจนไปใช้ จึงทำให้น้ำออกมีปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจนมากกว่าน้ำก่อนเข้าแปลง

2. ชนิดพืช

จากการศึกษาระบบหญ้ากรองน้ำเสียที่ปลูกพืชรากสั้น 3 ชนิดคือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่า และหญ้าดีกซี พบว่า พืชทั้งสามชนิดมีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในทุกรูปแบบได้ใกล้เคียงกัน โดยพืชที่บำบัดไนโตรเจนได้ดีที่สุดคือ หญ้าสตาร์ รองลงมาคือหญ้าคาลล่า และหญ้าดีกซี ตามลำดับ

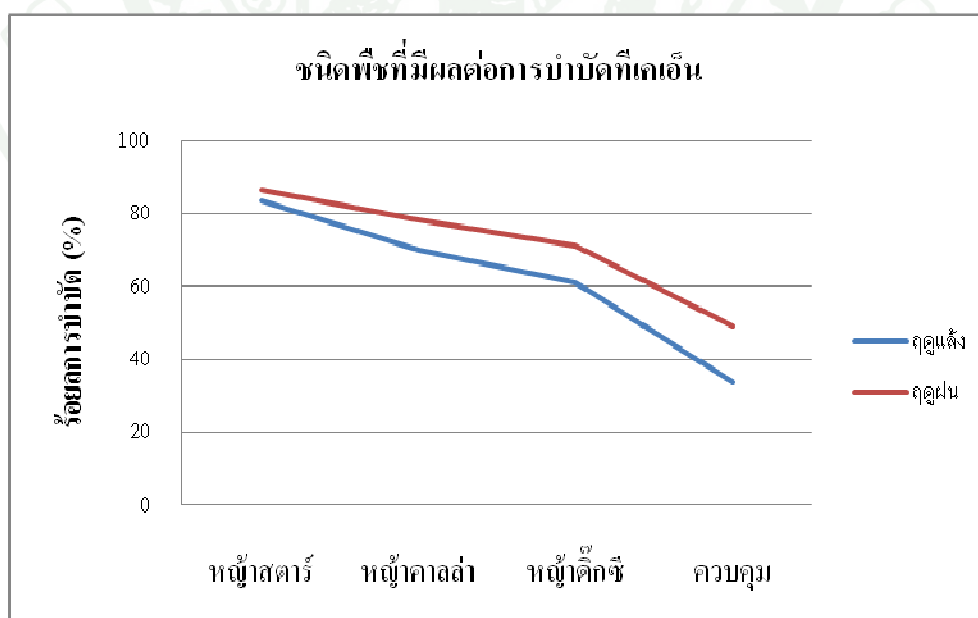


ภาพที่ 20 ชนิดพืชที่มีผลต่อการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

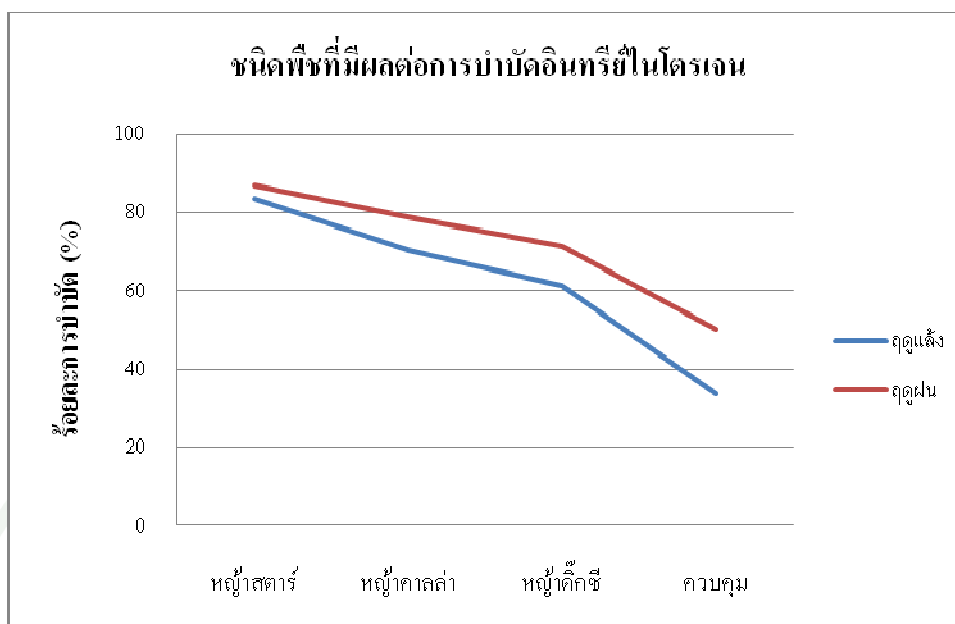


ภาพที่ 21 ชนิดพืชที่มีผลต่อการบำบัดไนโตรเจน

หมายเหตุ : แปลงควบคุม ไม่มีการปลูกพืช



ภาพที่ 22 ชนิดพืชที่มีผลต่อการบำบัดทีเคเอ็น



ภาพที่ 23 ชนิดพืชที่มีผลต่อการบำบัดอินทรีย์ไนโตรเจน

เนื่องจากพืชทั้งสามชนิดเป็นหญ้าที่มีรากเป็นระบบรากฝอย (Fibrous Root System) ประกอบด้วยรากขนาดเล็กเท่าๆ กันมากมาย เกิดบริเวณข้อของลำต้นที่อยู่ใต้ดินหรือใกล้ผิวดิน มีการสานกันแน่นเป็นแผ่น (สายัณห์, 2540) นอกจากนี้พืชที่มีรากฝอยแผ่กว้าง และมีการเจริญเติบโตของรากได้รวดเร็ว อีกทั้งรากฝอยที่มีมากยังช่วยกรองสารอินทรีย์ และยังเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ (กฤษณา, 2546) และกำจัดไนโตรเจนอีกด้วย โดยหญ้าสตาสามารถบำบัดไนโตรเจนได้ดีที่สุด เนื่องจากเป็นหญ้าที่เจริญเติบโตได้เร็วและสามารถตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนได้ดี ทนต่อดินเค็มในระดับปานกลาง (ธนัญชัย, 2545) ส่วน หญ้าคาล่า สามารถบำบัดไนโตรเจนได้รองลงมา เนื่องจาก เป็นหญ้าที่มีอายุหลายปี พบในบริเวณพื้นที่ดินเค็มสูง ลำต้นตั้งตรงและเป็นพุ่ม โดยหญ้าคาล่านั้นสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง (อังสนา, 2537) และหญ้าคึกชีบำบัดปริมาณไนโตรเจนได้น้อยที่สุด เนื่องจากหญ้ามืดกึ่งเป็นหญ้าที่ชอบเกลือในพื้นที่ดินเค็มที่มีคราบเกลือมาก แต่สามารถที่จะทนสภาพน้ำท่วมขังได้นาน (อรุณี, 2547)

3.ระยะทางที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช

จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนรูปต่าง ๆ ในน้ำ ที่ไหลผ่านแปลงพืชแต่ละแปลงพืชที่ระยะ 0, 25, 50, 75 และ 100 เมตร ทั้งในช่วง ถดถูฝนและฤดูแล้ง พบว่าระยะทางต่าง ๆ กันของแปลงพืชแต่ละแปลงมีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณไนโตรเจนได้ใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 11, 12, 13 และ 14

ตารางที่ 11 ร้อยละการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ระยะทางต่าง ๆ กันที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช

ฤดูกาล	แปลงพืช	ระยะทางที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช				
		0 เมตร	25 เมตร	50 เมตร	75 เมตร	100 เมตร
ฤดูฝน	หญ้าสดาร์	87.50	85.71	83.93	83.93	82.14
	หญ้าคาล่ำ	80.36	78.57	78.57	75.00	73.21
	หญ้าดีกชี	73.21	69.44	64.29	60.71	57.14
	ควมคุม	48.21	46.43	44.64	32.14	23.21
ฤดูแล้ง	หญ้าสดาร์	88.33	86.67	85.00	83.33	80.00
	หญ้าคาล่ำ	78.33	76.67	75.00	71.67	70.00
	หญ้าดีกชี	66.67	63.33	63.33	58.33	55.00
	ควมคุม	43.33	40.00	38.33	35.00	31.67

ตารางที่ 12 ปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนที่ระยะทางต่างๆ กันที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช

ฤดูกาล	แปลงพืช	ระยะทางที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช				
		0 เมตร	25 เมตร	50 เมตร	75 เมตร	100 เมตร
ฤดูฝน	หญ้าสดาร์	0.02	0.04	0.11	0.02	0.02
	หญ้าคาล่ำ	0.03	0.07	0.12	0.04	0.03
	หญ้าดีกชี	0.01	0.07	0.15	0.05	0.02
	ควมคุม	0.06	0.32	0.35	0.15	0.11
ฤดูแล้ง	หญ้าสดาร์	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
	หญ้าคาล่ำ	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02
	หญ้าดีกชี	0.01	0.10	0.08	0.06	0.03
	ควมคุม	0.01	0.45	0.48	0.14	0.08

ตารางที่ 13 ร้อยละการบำบัดที่เคเอ็นที่ระยะทางต่างๆ กันที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช

ฤดูกาล	แปลงพืช	ระยะทางที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช				
		0 เมตร	25 เมตร	50 เมตร	75 เมตร	100 เมตร
ฤดูฝน	หญ้าสดาร์	87.30	86.79	85.20	86.05	86.62
	หญ้าคาล่า	78.85	76.70	79.02	78.00	78.51
	หญ้าคากี	71.43	72.51	72.05	73.02	71.09
	ควบคุม	46.03	49.66	47.17	45.92	49.21
ฤดูแล้ง	หญ้าสดาร์	85.23	84.49	84.15	84.05	83.46
	หญ้าคาล่า	74.56	73.97	72.55	71.67	70.25
	หญ้าคากี	65.22	64.38	63.85	63.11	61.01
	ควบคุม	30.92	31.51	34.25	31.9	33.61

ตารางที่ 14 ร้อยละการบำบัดอินทรีย์-ไนโตรเจนที่ระยะทางต่างๆ กันที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช

ฤดูกาล	แปลงพืช	ระยะทางที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช				
		0 เมตร	25 เมตร	50 เมตร	75 เมตร	100 เมตร
ฤดูฝน	หญ้าสดาร์	87.30	86.83	85.25	86.12	86.77
	หญ้าคาล่า	80.91	76.64	79.04	78.10	78.69
	หญ้าคากี	71.37	72.60	72.31	73.42	71.55
	ควบคุม	45.96	49.77	47.25	46.37	50.06
ฤดูแล้ง	หญ้าสดาร์	85.13	84.23	84.12	84.07	83.57
	หญ้าคาล่า	74.45	73.89	72.48	71.67	70.26
	หญ้าคากี	65.17	64.42	63.86	63.26	61.19
	ควบคุม	30.54	31.25	34.12	31.80	33.67

ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบหญ้ากรองน้ำเสียทำโดยปล่อยน้ำเสียให้แช่ขังเป็นเวลา 5 วันจึงระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดออกทางระบายน้ำใต้ดินสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ดังนั้นทุกระยะทางที่น้ำเสียไหลผ่านหรือแช่ขังมีสถานะที่เหมือนกันหมด จึงทำให้มีร้อยละการบำบัดไนโตรเจนทุกรูปแบบได้ใกล้เคียงกัน ยกเว้นแต่ไนเตรต-ไนโตรเจนที่ในระยะทาง 25-75 เมตร มีปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนมากกว่าระยะอื่น เนื่องจาก ไนเตรตเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน

ซึ่งต้องอาศัยเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรต ดังนั้นในตอนเริ่มต้นจึงมีไนเตรตน้อย และส่วนท้ายแปลงพืช พืชมีการดูดไนเตรตไปใช้ จึงทำให้ปริมาณไนเตรตลดลง



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาประสิทธิภาพและปัจจัยการบำบัดปริมาณไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน, ทีเคเอ็นและอินทรีย์-ไนโตรเจน ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียที่ปลูกพืชรากสั้น ได้แก่ หญ้าสตาร์ หญ้าคาล่า และหญ้าคึกชี ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ พบว่า ฤดูกาลไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจน โดยร้อยละการบำบัดปริมาณไนโตรเจนในฤดูฝนและฤดูแล้งมีความใกล้เคียงกัน ในส่วนของชนิดพืชนั้น พบว่า พืชทั้งสามชนิดมีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในทุกรูปแบบได้ โดยพืชที่บำบัดไนโตรเจนได้ดีที่สุดคือ หญ้าสตาร์ รองลงมาคือหญ้าคาล่า และหญ้าคึกชี ตามลำดับ และระยะทางที่น้ำไหลผ่านแปลงพืชแต่ละแปลงที่ระยะ 0, 25, 50, 75 และ 100 เมตร ทั้งในช่วง ฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่าที่ทุกระยะทางมีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณไนโตรเจนได้ใกล้เคียงกันตลอดทั้งแปลงและน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าพารามิเตอร์ที่บ่งชี้คุณภาพน้ำไม่เกินเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด แสดงว่าระบบบำบัดน้ำเสียนั้นมีประสิทธิภาพเพียงพอในการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชน

ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจน ต้องทำภายในระยะเวลาที่จำกัด อาจจะมีการนำชุดทดสอบปริมาณแอมโมเนียและไนเตรตในน้ำภาคสนามมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อความรวดเร็ว
2. ควรมีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ตัวอื่น เช่น โปแตสเซียม, แคลเซียม เป็นต้นและควรมีการประยุกต์ใช้งานจริงกับแหล่งน้ำเสียชุมชนในจังหวัดอื่นๆ ต่อไป
3. ระบบบำบัดแบบห้ำกรองน้ำเสียมีข้อด้อยคือ ไม่สามารถบำบัดค่าการนำไฟฟ้า ความเค็ม และของแข็งที่ละลายน้ำได้ จึงควรมีการพัฒนาแบบห้ำกรองน้ำเสียให้สามารถบำบัดพารามิเตอร์เหล่านี้ได้ต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2545. **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2537. **แนวทางควบคุมปัญหาน้ำเสียสำหรับองค์กรบริหารท้องถิ่น**. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- _____. 2538. **เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำ และมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย**. กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- กฤษฎา รุ่งโรจน์วิชย์. 2546. **หน้าแฟกกับการอนุรักษ์ดินและน้ำ**. แหล่งที่มา : www.rta.mi.th/21100u/collum2/yafag2.htm, 3 ตุลาคม 2556.
- กุลภัทร พิธิษฐ์กุล. 2543. **การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยกระบวนการทางเคมี (Municipal Wastewater Treatment by Chemical Precipitation)**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เกษม จันทรแก้ว. 2540. **โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี**. โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)
- _____. 2541. **เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม**. โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. **วิธีบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland System) การกำจัดน้ำเสีย**. กรุงเทพฯ.

ขวัญฤดี โชติชนาทวีวงศ์. 2548. ตำราระบบบำบัดมลพิษทางน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

ขนิษฐา จารุวิชยพงศ์. 2538. พฤติกรรมการใช้น้ำและการจัดการน้ำทิ้งของครัวเรือนในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 9. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2541. เอกสารข้อมูลการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำบางประการของเทศบาลเมืองเพชรบุรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2551. เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม. แหล่งที่มา: <http://www.lerd.org/data.php>, 7 พฤศจิกายน 2555.

เฉลิมพล แซมเพชร. 2530. หญ้าและลั่วอาหารสัตว์เมืองร้อน. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ณรงค์ วุฑฒเสถียร. 2540. คุณสมบัติของน้ำ. การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม ตุลาคม 2540 (พิมพ์ครั้งที่ 2), โรงพิมพ์ บริษัท ประชาชน จำกัด, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2534. ดินที่ใช้ปลูกข้าว. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชนพร บุศย์น้ำเพชร. 2541. สมรรถนะของแม่น้ำเพชรบุรีต่อการรองรับปริมาณไนเตรท และฟอสเฟต จากน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดของชุมชนเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนัญชัย วรรณสุข. 2545. ศักยภาพการใช้หญ้าอาหารสัตว์ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมือง
เพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2545. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 2. สมาคม
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

นาวิ จันทรวงษ์. 2552. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี โดย
ระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประภาภรณ์ เคารพ. 2543. การศึกษารูปของแอมโมเนียมในดินจากการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีพืช
กรองน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปราณี พันธุมสินชัย. 2537. คู่มือการดำเนินงานควบคุมปัญหาน้ำเสียของภาคีรัฐบาล องค์การ
บริหาร และสุขภาพ. เรือนแก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. มลพิษอุตสาหกรรมเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 4. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่ง
ประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ปกรณ ประดิษฐ์ทอง. 2540. การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารพืชและโลหะหนักในระบบบำบัดน้ำเสีย
จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พัฒนา มูลพฤษย์. 2539. อนามัยสิ่งแวดล้อม. หจก. เอ็น.เอส.แอล พรินติ้ง, กรุงเทพฯ.

เพิ่มพูน กิรติกสิกร. 2528. เหมืองดิน. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ไพบุลย์ ประพุดิธรรม. 2528. เหมืองดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มันสิน ดันทุลเวสม์ และ มันรัก ดันทุลเวสม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

มันสิน ดันทุลเวสม์. 2540. ไนเตรต-ไนโตรเจน. คู่มือการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 2540 พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ลลิตี ทับทิมทอง. 2553. การประยุกต์ระบบบึงประดิษฐ์บำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้บัวหลวงและกก
ลังกา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิวาพร ตั้งวานิชกพงษ์. 2551. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัด
เพชรบุรี ด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับโสน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไศรดา ขุนโท. 2543. แอมโมเนียกับอุตสาหกรรม. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 49 (157) :
11-13.

ศิริพร พรหมดี. 2554. การพัฒนาชุดทดสอบปริมาณแอมโมเนียและไนเตรทในน้ำภาคสนาม
สำหรับโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมศักดิ์ เจริญวัย และสิรภพ เทพพิทักษ์. 2548. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของหญ้าอูปลาส
พาลัม หญ้าสปีดนา และหญ้าคาล่าที่ปลูกในระบบหญ้ากรองน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมือง
เพชรบุรี, น. 90-98. ใน ประชุมวิชาการของสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่
4. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

สายันห์ ทัดศรี. 2540. พืชอาหารสัตว์เขตร้อน: การผลิตและการจัดการ. ภาควิชาพืชไร่นา คณะ
เกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2540. พืชอาหารสัตว์เขตร้อน การผลิตการจัดการ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ภาควิชาไร
นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายัณห์ ทัดศรี. 2547. **พืชอาหารสัตว์เขตร้อน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สายัณห์ ทัดศรี, สุวพงษ์ สวัสดิ์พาณิชย์, สมบัติ ชินะวงศ์, คุณหญิงสุชาดา ศรีเพ็ญ, จันทนา สุขปรีดี, สุมณ มาสุชน, สมศักดิ์ เจริญวัย และ ธนัญชัย วรรณสุข. 2543. การปลูกหญ้าในแปลงทดลอง: อิทธิพลของระบบการปล่อยน้ำเสียต่อผลผลิตและคุณภาพของหญ้าสด หญ้าคาลาและหญ้าโคสโครส น. 23-1 ถึง 23-10 ใน เรื่อง **วิทยาศาสตร์การกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสีย ตามแนวพระราชดำริ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ณ ห้องประชุม ชั้น 7 อาคารวิทยพัฒนา วันที่ 24-25 สิงหาคม 2543 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.**

สิทธิชัย ตันธนะสฤษฎี. 2538. **การใช้ดินตะกอนภาคพื้นสมุทรในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชเป็นต้นแบบในการบำบัดน้ำเสียชุมชน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____. 2549. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุชาดา ยางเอน. 2546. **การกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียจากตู้เลี้ยงปลาโดยการกรองด้วยหินภูเขาไฟ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุชาดา ศรีเพ็ญ, สายัณห์ ทัดศรี, จันทนา สุขปรีดี, สุวพงษ์ สวัสดิ์พาณิชย์, สมบัติ ชินะวงศ์ และ สุมณ มาสุชน. 2537. การคัดเลือกพันธุ์พืชที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธี Grass filtration, เอกสารประกอบการบรรยายหมายเลข 7 น. 1-7. ใน **การประชุมเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ณ โรงแรมริเจนท์ชะอำ** อำเภอชะอำ วันที่ 2-3 พฤษภาคม 2537 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ. 2549. **เทคโนโลยีน้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุเทพ สิริวิทย์พานิชย์. 2531. การออกแบบโครงการบำบัดน้ำเสียชุมชน. ใน เอกสารประกอบการ
อบรมทางวิชาการ การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากชุมชนครั้งที่ 3 ระหว่างวันที่ 24-25
พฤศจิกายน 2531. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุรัสวดี บุษปะเรณู. 2542. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด บีโอดี และซีโอดี ในน้ำเสียชุมชนเมือง
เพชรบุรี โดยวิธีหลั่งกรองน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2535. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพ
สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 2535 และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง. สำนักงานนโยบายและแผน
สิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2543.
คู่มือปฏิบัติสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม และติดตามตรวจสอบคุณภาพ
สิ่งแวดล้อม. สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

อรทัย เชื้อวงษ์. 2550. การศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี
ด้วยพืชรักช่า 3 พันธุ์ ในระบบดินน้ำข้างสลับแห้งร่วมกับพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อาภรณ์ ยิ่งยง. 2539. การบำบัดบีโอดีและซีโอดีในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรีในสภาพน้ำข้างสลับ
แห้งร่วมกับพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อารีย์ วรรณวิวัฒน์. 2526. พืชอาหารสัตว์: หลักและปฏิบัติ. ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม.

อรุณี ขวัญนิม. 2547. คู่มือการจัดการแก้ไขปัญหาดินเค็ม. ใน เอกสารวิชาการของกลุ่มวิจัยและ
พัฒนาการจัดการดินเค็ม สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน,
กรุงเทพฯ.

อังสนา ไต่จิกกล้า. 2537. อิทธิพลของความเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลง
โครงสร้างภายในของหญ้าคาล่อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

APHA, AWWA and WEF. 1995. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**. 19th ed., American Public Health Association, Washington D.C.

Aiyuk, S. H.XU, A.Van Haandel and W. Verstrate. 2004. Removal of Ammonium Nitrogen from Pretreated Domestic Sewage Using a Natural Ion Exchanger. **Environmental Technology** 25: 1321-1330.

Abdul ,T. S., J. T. Hvitved, J. Vollertsen and Z. Ujang. 2002. Anoxic Transformations of Wastewater Organic Matter in Sewers - Process Kinetics, Model Concept and Wastewater Treatment Potential. **Water Science & Technology** 45(3): 53–60.

Bower, C.E. and J.P. Bidwell. 1978. Ionization of ammonia in seawater: effect of temperature, pH and salinity. **J. Fish. Res. Board Can.** 35 : 1012 – 1016.

Emerson, K.,R.C. Russo, R.E. Lund and R.V. Thurston. 1975. Aqueous ammonia equilibrium Calculation. Effect of pH and temperature. **J. Fish. Res. Board Can.** 32:2379-2383.

Harada, T., H. Hashimoto and T. Yoshizawa. 1995. The relationship between readily decomposable organic matter of paddy soil and its colloidal complexes. **Soil and Plant Food**: 46-50.

Hargreaves, J.A. 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. **Aquaculture** 166: 181- 212.

Kadlac, J.A. 1962. Effect of a drawdown on a waterfowl impoundment. **Ecol** 43: 267-281.

Loyd, R. and D. W. M. Herbert. 1960. The influence carbondioxideon the toxicity of unionized ammonia to rainbow trout *Salmo gairdnevi* Richardson. **Ann. Appl. Biol** 48 : 399 – 404.

Markens, J.C. and K.M. Downing. 1957. The effect of tension of tension of dissolve oxygen an the toxicity of un-ionized ammonia to several species of fish. **Ann. Appl. Biol** 45: 521.

Metcalf and Eddy, Inc. 1991. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse.** 3rd ed, McGraw-hill, Inc, New York.

Metcalf and Eddy, Inc. 2003. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse.** 4th ed, McGraw-hill, Inc, New York.

Minson, D.J. 1975. Pasture management and animal nutrition. In: Refresher Course Management of Improved Tropical Pasture. U. of Queensland, St. Lucia. Australia

Oh J., S. M. Yoon. and J. M. Park. 2000. Denitrification in Submerged Biofilters of Concentrated Nitrate Wastewater. **Water Science & Technology** 43(1): 217–223.

Mitsui, S. 1995. **Inorganic Nutrition Fertilization and Soil Amelioration for Low – land Rice.** 2d ed., Yokendo Press, Tokyo.

Oh J., S. M. Yoon. and J. M. Park. 2000. Denitrification in Submerged Biofilters of Concentrated Nitrate Wastewater. **Water Science & Technology** 43(1): 217–223.

Ponnamperuma, F.N. 1995. **The chemistry of submerged soil in relation to the growth and yield of rice.** Ph.D. thesis, Cornell Univ., Ithaca, New York.

Randall, D.J. and T.K.N. Tsui. Ammonia toxicity in fish. **Marine Pollution Bulletin** 45: 17-23.

Sawyer, Clair N. 1994. **Chemistry for environmental engineering. Nitrogen.** 4th Edition, McGraw Hill Inc. Singapore. 658 p.

Southwick, C.H. 1972. **Ecology and the quality of our environment.** 2nd (ed), Litton educational publishing, Inc., New York.

Trussell, R.P. 1972. The percent un-ionized ammonia in aqueous ammonia solutions at Difference pH levels and temperatures. **J. Fish. Res. Board. Can** 29: 1505-1507

William, M. and W.M. Patrick, Jr. 1994. From waste land to wetland. J. **Environ. Qual** 23: 292-296.





ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนแปลงควม ในช่วงฤดูฝน

ลำดับจุด เก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อนเข้า							
ระบบ	0.64	0.64	0.65	0.47	0.46	0.47	0.56
บำบัด							
1	0.26	0.26	0.26	0.30	0.29	0.30	0.28
2	0.25	0.26	0.26	0.33	0.33	0.32	0.29
3	0.31	0.31	0.30	0.29	0.29	0.30	0.30
4	0.29	0.29	0.29	0.28	0.29	0.28	0.29
5	0.28	0.28	0.27	0.31	0.31	0.31	0.29
6	0.32	0.31	0.32	0.33	0.33	0.33	0.32
7	0.34	0.33	0.32	0.32	0.30	0.33	0.32
8	0.32	0.31	0.31	0.29	0.29	0.28	0.30
9	0.32	0.31	0.30	0.32	0.30	0.32	0.31
10	0.39	0.39	0.38	0.38	0.37	0.38	0.38
11	0.36	0.37	0.37	0.39	0.38	0.37	0.37
12	0.35	0.35	0.36	0.39	0.39	0.38	0.37
13	0.43	0.43	0.44	0.45	0.43	0.43	0.44
14	0.45	0.45	0.44	0.40	0.42	0.43	0.43
15	0.42	0.42	0.43	0.40	0.42	0.42	0.42
น้ำออก							
จากระบบ	0.45	0.45	0.44	0.40	0.42	0.43	0.43
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนแปลงหญ้าสดใน ช่วงฤดูฝน

ลำดับจุด เก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อนเข้า							
ระบบ	0.64	0.64	0.65	0.47	0.46	0.47	0.56
บำบัด							
1	0.05	0.04	0.07	0.09	0.08	0.09	0.07
2	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07
3	0.08	0.09	0.07	0.07	0.09	0.06	0.08
4	0.11	0.09	0.09	0.08	0.07	0.08	0.09
5	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.08
6	0.08	0.07	0.08	0.10	0.09	0.08	0.08
7	0.07	0.07	0.07	0.09	0.10	0.09	0.08
8	0.08	0.07	0.10	0.09	0.10	0.12	0.09
9	0.10	0.11	0.09	0.12	0.09	0.07	0.10
10	0.08	0.08	0.08	0.10	0.13	0.09	0.09
11	0.09	0.08	0.07	0.09	0.10	0.08	0.09
12	0.14	0.12	0.11	0.09	0.10	0.06	0.10
13	0.14	0.12	0.07	0.09	0.10	0.10	0.10
14	0.09	0.10	0.11	0.12	0.10	0.08	0.10
15	0.13	0.09	0.09	0.13	0.09	0.10	0.11
น้ำออก							
จากระบบ	0.09	0.10	0.11	0.12	0.10	0.08	0.10
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนแปลงหญ้าคาล่า ในช่วงฤดูฝน

ลำดับจุด เก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อนเข้า							
ระบบ	0.64	0.64	0.65	0.47	0.46	0.47	0.56
บำบัด							
1	0.09	0.13	0.10	0.11	0.09	0.09	0.10
2	0.13	0.14	0.11	0.12	0.13	0.09	0.12
3	0.09	0.09	0.08	0.10	0.09	0.12	0.10
4	0.12	0.15	0.14	0.13	0.11	0.12	0.13
5	0.13	0.10	0.12	0.14	0.13	0.12	0.12
6	0.11	0.12	0.12	0.11	0.11	0.12	0.12
7	0.10	0.12	0.11	0.13	0.11	0.12	0.12
8	0.13	0.10	0.09	0.10	0.13	0.12	0.11
9	0.11	0.14	0.12	0.11	0.13	0.12	0.12
10	0.16	0.15	0.17	0.15	0.15	0.14	0.15
11	0.14	0.12	0.14	0.13	0.14	0.11	0.13
12	0.16	0.15	0.11	0.14	0.12	0.12	0.13
13	0.17	0.18	0.17	0.19	0.15	0.17	0.17
14	0.15	0.15	0.17	0.15	0.12	0.13	0.15
15	0.14	0.14	0.16	0.12	0.15	0.15	0.14
น้ำออก							
จากระบบ	0.15	0.15	0.17	0.15	0.12	0.13	0.15
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนแปลงหญ้าดีกชี ในช่วงฤดูฝน

ลำดับจุด เก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อนเข้า							
ระบบ	0.64	0.64	0.65	0.47	0.46	0.47	0.56
บำบัด							
1	0.16	0.17	0.15	0.14	0.13	0.17	0.15
2	0.15	0.17	0.12	0.17	0.15	0.13	0.15
3	0.13	0.13	0.14	0.20	0.14	0.16	0.15
4	0.17	0.19	0.15	0.14	0.18	0.17	0.17
5	0.20	0.15	0.17	0.13	0.16	0.16	0.16
6	0.18	0.15	0.16	0.17	0.20	0.18	0.17
7	0.15	0.17	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19
8	0.20	0.18	0.21	0.21	0.19	0.21	0.20
9	0.21	0.22	0.19	0.23	0.20	0.19	0.21
10	0.22	0.24	0.25	0.21	0.23	0.23	0.23
11	0.25	0.22	0.20	0.18	0.20	0.21	0.21
12	0.20	0.23	0.19	0.18	0.25	0.23	0.21
13	0.23	0.22	0.24	0.25	0.25	0.23	0.24
14	0.26	0.22	0.25	0.26	0.24	0.23	0.24
15	0.25	0.25	0.27	0.26	0.22	0.24	0.25
น้ำออก							
จากระบบ	0.26	0.22	0.25	0.26	0.24	0.23	0.24
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนแปลงควม ในช่วงฤดูแล้ง

ลำดับจุด เก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	15 พฤษภาคม 2555			25 เมษายน 2556			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อนเข้า							
ระบบ	0.58	0.58	0.59	0.62	0.60	0.60	0.60
บำบัด							
1	0.30	0.31	0.30	0.35	0.36	0.36	0.33
2	0.37	0.38	0.39	0.33	0.32	0.32	0.35
3	0.33	0.34	0.34	0.32	0.31	0.31	0.33
4	0.35	0.33	0.33	0.38	0.38	0.38	0.36
5	0.32	0.33	0.32	0.35	0.38	0.38	0.35
6	0.35	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.36
7	0.35	0.35	0.35	0.36	0.37	0.37	0.36
8	0.38	0.39	0.39	0.39	0.36	0.37	0.38
9	0.36	0.37	0.35	0.37	0.38	0.38	0.37
10	0.39	0.39	0.38	0.39	0.39	0.40	0.39
11	0.37	0.34	0.36	0.43	0.45	0.42	0.40
12	0.35	0.36	0.37	0.39	0.37	0.38	0.37
13	0.41	0.41	0.42	0.40	0.40	0.41	0.41
14	0.41	0.43	0.45	0.38	0.39	0.39	0.41
15	0.42	0.41	0.41	0.42	0.42	0.43	0.42
น้ำออก							
จากระบบ	0.41	0.43	0.45	0.38	0.39	0.39	0.41
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนแปลงหญ้าสดใน ช่วงฤดูแล้ง

ลำดับจุด เก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	15 พฤษภาคม 2555			25 เมษายน 2556			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อนเข้า							
ระบบ	0.58	0.58	0.59	0.62	0.60	0.60	0.60
บำบัด							
1	0.07	0.06	0.07	0.06	0.08	0.09	0.07
2	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.07	0.10
3	0.08	0.05	0.07	0.07	0.09	0.10	0.08
4	0.11	0.10	0.06	0.08	0.07	0.09	0.09
5	0.10	0.07	0.08	0.10	0.07	0.08	0.08
6	0.06	0.07	0.05	0.10	0.09	0.09	0.08
7	0.09	0.12	0.09	0.09	0.10	0.11	0.10
8	0.13	0.09	0.10	0.09	0.06	0.07	0.09
9	0.11	0.08	0.07	0.06	0.09	0.12	0.09
10	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.09	0.11
11	0.10	0.08	0.09	0.13	0.12	0.09	0.10
12	0.11	0.12	0.13	0.08	0.10	0.07	0.10
13	0.14	0.12	0.12	0.10	0.14	0.10	0.12
14	0.13	0.10	0.12	0.12	0.15	0.12	0.12
15	0.13	0.08	0.11	0.07	0.09	0.13	0.10
น้ำออก							
จากระบบ	0.13	0.10	0.12	0.12	0.15	0.12	0.12
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนแปลงหญ้าคาล่า ในช่วงฤดูแล้ง

ลำดับจุด เก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	15 พฤษภาคม 2555			25 เมษายน 2556			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อนเข้า							
ระบบ	0.58	0.58	0.59	0.62	0.60	0.60	0.60
บำบัด							
1	0.15	0.13	0.12	0.11	0.14	0.13	0.13
2	0.13	0.11	0.15	0.15	0.13	0.16	0.14
3	0.13	0.12	0.14	0.15	0.09	0.12	0.13
4	0.12	0.15	0.14	0.13	0.16	0.15	0.14
5	0.16	0.12	0.13	0.14	0.13	0.17	0.14
6	0.13	0.12	0.15	0.11	0.14	0.12	0.13
7	0.17	0.16	0.16	0.19	0.11	0.17	0.16
8	0.15	0.16	0.14	0.17	0.13	0.14	0.15
9	0.14	0.16	0.15	0.18	0.12	0.15	0.15
10	0.20	0.15	0.17	0.19	0.15	0.18	0.17
11	0.19	0.18	0.14	0.17	0.14	0.17	0.17
12	0.19	0.21	0.17	0.19	0.15	0.19	0.18
13	0.19	0.18	0.17	0.19	0.20	0.17	0.18
14	0.21	0.17	0.19	0.20	0.14	0.16	0.18
15	0.19	0.17	0.15	0.21	0.16	0.19	0.18
น้ำออก							
จากระบบ	0.21	0.17	0.19	0.20	0.14	0.16	0.18
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนแปลงหญ้าดีกรี ในช่วงฤดูแล้ง

ลำดับจุด เก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	15 พฤษภาคม 2555			25 เมษายน 2556			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อนเข้า							
ระบบ	0.58	0.58	0.59	0.62	0.60	0.60	0.60
บำบัด							
1	0.23	0.22	0.20	0.18	0.21	0.17	0.20
2	0.20	0.19	0.18	0.19	0.20	0.24	0.20
3	0.25	0.21	0.24	0.20	0.19	0.17	0.21
4	0.25	0.22	0.23	0.23	0.20	0.23	0.23
5	0.21	0.24	0.22	0.19	0.23	0.25	0.22
6	0.23	0.25	0.20	0.19	0.20	0.23	0.22
7	0.26	0.25	0.20	0.20	0.24	0.20	0.23
8	0.20	0.24	0.20	0.23	0.22	0.21	0.22
9	0.25	0.22	0.23	0.20	0.24	0.19	0.22
10	0.26	0.24	0.25	0.27	0.23	0.25	0.25
11	0.25	0.27	0.26	0.29	0.27	0.24	0.26
12	0.29	0.28	0.27	0.25	0.20	0.20	0.25
13	0.29	0.25	0.27	0.25	0.27	0.25	0.26
14	0.25	0.29	0.27	0.30	0.27	0.25	0.27
15	0.27	0.25	0.27	0.25	0.27	0.29	0.27
น้ำออก							
จากระบบ	0.25	0.29	0.27	0.30	0.27	0.25	0.27
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนแปลงควม ในช่วงฤดูฝน

ลำดับจุด เก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อนเข้า							
ระบบ	0.03	0.04	0.03	0.06	0.06	0.06	0.05
บำบัด							
1	0.04	0.05	0.05	0.07	0.06	0.06	0.06
2	0.07	0.06	0.07	0.04	0.05	0.05	0.06
3	0.08	0.09	0.09	0.08	0.06	0.07	0.08
4	0.23	0.23	0.24	0.25	0.25	0.26	0.24
5	0.32	0.31	0.32	0.33	0.31	0.33	0.32
6	0.39	0.40	0.42	0.40	0.41	0.39	0.40
7	0.35	0.33	0.34	0.37	0.36	0.36	0.35
8	0.34	0.35	0.35	0.34	0.33	0.32	0.34
9	0.36	0.38	0.37	0.32	0.33	0.33	0.35
10	0.14	0.12	0.12	0.15	0.13	0.12	0.13
11	0.16	0.17	0.17	0.14	0.16	0.15	0.16
12	0.13	0.14	0.16	0.15	0.16	0.17	0.15
13	0.07	0.08	0.07	0.09	0.10	0.10	0.09
14	0.09	0.09	0.09	0.13	0.12	0.13	0.11
15	0.12	0.11	0.00	0.13	0.13	0.15	0.11
น้ำออก							
จากระบบ	0.09	0.09	0.09	0.13	0.12	0.13	0.11
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนแปลงหญ้าสด ในช่วงฤดูฝน

ลำดับจุด เก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อนเข้า							
ระบบ	0.03	0.04	0.03	0.06	0.06	0.06	0.05
บำบัด							
1	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
2	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	0.00	0.02
3	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
4	0.07	0.04	0.03	0.05	0.04	0.04	0.05
5	0.03	0.03	0.04	0.05	0.04	0.02	0.04
6	0.04	0.05	0.04	0.04	0.02	0.05	0.04
7	0.15	0.12	0.13	0.11	0.10	0.12	0.12
8	0.11	0.13	0.11	0.13	0.10	0.09	0.11
9	0.10	0.12	0.14	0.09	0.10	0.11	0.11
10	0.03	0.01	0.02	0.04	0.03	0.01	0.02
11	0.03	0.02	0.01	0.02	0.04	0.02	0.02
12	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03
13	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
14	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
15	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02
น้ำออก							
จากระบบ	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนแปลงหน่วยค่าคลอใน ช่วงฤดูฝน

ลำดับจุด เก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อนเข้า							
ระบบ	0.03	0.04	0.03	0.06	0.06	0.06	0.05
บำบัด							
1	0.03	0.04	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03
2	0.03	0.03	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
3	0.02	0.03	0.05	0.04	0.02	0.03	0.03
4	0.07	0.05	0.04	0.07	0.07	0.08	0.06
5	0.07	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09	0.07
6	0.09	0.06	0.07	0.06	0.09	0.07	0.07
7	0.10	0.12	0.14	0.13	0.10	0.09	0.11
8	0.14	0.11	0.13	0.15	0.12	0.09	0.12
9	0.10	0.13	0.12	0.14	0.13	0.11	0.12
10	0.05	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
11	0.04	0.04	0.02	0.05	0.04	0.04	0.04
12	0.04	0.06	0.04	0.05	0.04	0.02	0.04
13	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03
14	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.04	0.03
15	0.03	0.02	0.04	0.02	0.04	0.01	0.03
น้ำออก							
จากระบบ	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.04	0.03
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนแปลงหญ้าดีกชี ในช่วงฤดูฝน

ลำดับจุด เก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อนเข้า							
ระบบ	0.03	0.04	0.03	0.06	0.06	0.06	0.05
บำบัด							
1	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
2	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
3	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01
4	0.08	0.06	0.08	0.05	0.06	0.06	0.07
5	0.07	0.08	0.09	0.09	0.06	0.07	0.08
6	0.07	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07	0.06
7	0.15	0.16	0.13	0.17	0.15	0.15	0.15
8	0.16	0.13	0.14	0.16	0.15	0.15	0.15
9	0.17	0.15	0.19	0.19	0.15	0.13	0.16
10	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05
11	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05
12	0.05	0.02	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05
13	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02
14	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02
15	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02
น้ำออก							
จากระบบ	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 13 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนแปลงควม ในช่วงฤดูแล้ง

ลำดับจุด เก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	15 พฤษภาคม 2555			25 เมษายน 2556			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อนเข้า							
ระบบ	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05
บำบัด							
1	0.03	0.00	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02
2	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01
3	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
4	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50	0.48	0.48
5	0.46	0.47	0.47	0.47	0.46	0.45	0.46
6	0.41	0.40	0.40	0.42	0.42	0.42	0.41
7	0.48	0.48	0.47	0.46	0.46	0.46	0.47
8	0.49	0.48	0.47	0.48	0.47	0.48	0.48
9	0.49	0.50	0.50	0.48	0.48	0.47	0.49
10	0.16	0.16	0.16	0.18	0.18	0.17	0.17
11	0.11	0.12	0.12	0.16	0.16	0.16	0.14
12	0.11	0.11	0.11	0.13	0.13	0.13	0.12
13	0.07	0.06	0.07	0.06	0.08	0.07	0.07
14	0.09	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08
15	0.08	0.09	0.10	0.09	0.08	0.10	0.09
น้ำออก							
จากระบบ	0.09	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 14 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนแปลงหญ้าสด ในช่วงฤดูแล้ง

ลำดับจุด เก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	15 พฤษภาคม 2555			25 เมษายน 2556			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อนเข้า							
ระบบ	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05
บำบัด							
1	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03
2	0.04	0.03	0.03	0.03	0.01	0.02	0.03
3	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03
4	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.01	0.02
5	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02
6	0.02	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01
7	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01
8	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
9	0.03	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.02
10	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
11	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
12	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
13	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02
14	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
15	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
น้ำออก							
จากระบบ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 15 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนแปลงหน่วยค่าคลอใน ช่วงฤดูแล้ง

ลำดับจุด เก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	15 พฤษภาคม 2555			25 เมษายน 2556			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อนเข้า							
ระบบ	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05
บำบัด							
1	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
2	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02
3	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.04	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03
5	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03
6	0.02	0.01	0.03	0.04	0.02	0.04	0.03
7	0.02	0.04	0.01	0.04	0.03	0.02	0.03
8	0.03	0.01	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03
9	0.02	0.01	0.03	0.04	0.02	0.04	0.03
10	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01
11	0.01	0.00	0.03	0.02	0.04	0.01	0.02
12	0.02	0.03	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02
13	0.05	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03
14	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
15	0.02	0.01	0.04	0.01	0.03	0.03	0.02
น้ำออก							
จากระบบ	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 16 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนแปลงหญ้าดีกชี ในช่วงฤดูแล้ง

ลำดับจุด เก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	15 พฤษภาคม 2555			25 เมษายน 2556			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อนเข้า							
ระบบ	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05
บำบัด							
1	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
2	0.01	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02
3	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01
4	0.10	0.11	0.12	0.09	0.09	0.11	0.10
5	0.12	0.10	0.09	0.10	0.09	0.12	0.10
6	0.09	0.13	0.09	0.13	0.10	0.09	0.11
7	0.10	0.06	0.07	0.05	0.08	0.10	0.08
8	0.11	0.09	0.08	0.06	0.09	0.06	0.08
9	0.10	0.11	0.09	0.11	0.08	0.06	0.09
10	0.06	0.05	0.04	0.08	0.05	0.06	0.06
11	0.05	0.08	0.06	0.09	0.05	0.04	0.06
12	0.07	0.06	0.04	0.05	0.08	0.07	0.06
13	0.03	0.03	0.02	0.04	0.00	0.02	0.02
14	0.04	0.00	0.01	0.04	0.06	0.03	0.03
15	0.04	0.00	0.03	0.05	0.05	0.01	0.03
น้ำออก							
จากระบบ	0.04	0.00	0.01	0.04	0.06	0.03	0.03
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 17 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เคเอ็นแปลงควบคุม ในช่วงฤดูฝน

ลำดับจุดเก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)		ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555 ครั้งที่ 1	26 กรกฎาคม 2555 ครั้งที่ 2	
น้ำก่อนเข้าระบบ			
บ่อบัด	17.92	17.36	17.64
1	9.24	9.20	9.22
2	9.72	9.75	9.74
3	9.60	9.61	9.61
4	8.76	8.77	8.77
5	8.85	8.86	8.86
6	9.01	9.02	9.02
7	9.32	9.30	9.31
8	9.31	9.32	9.32
9	9.35	9.34	9.35
10	9.46	9.48	9.47
11	9.78	9.79	9.79
12	9.38	9.37	9.38
13	8.58	8.57	8.58
14	8.95	8.96	8.96
15	9.34	9.34	9.34
น้ำออกจากระบบ			
บ่อบัด	8.95	8.96	8.96

ตารางผนวกที่ 18 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เคเอ็นแปลงหญ้าสดใน ช่วงฤดูฝน

ลำดับจุดเก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)		ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555 ครั้งที่ 1	26 กรกฎาคม 2555 ครั้งที่ 2	
น้ำก่อนเข้าระบบ			
บ่อบัด	17.92	17.36	17.64
1	2.25	2.22	2.24
2	2.26	2.23	2.25
3	2.27	2.21	2.24
4	2.33	2.35	2.34
5	2.30	2.29	2.30
6	2.35	2.36	2.36
7	2.57	2.60	2.59
8	2.60	2.62	2.61
9	2.63	2.65	2.64
10	2.48	2.50	2.49
11	2.45	2.39	2.42
12	2.45	2.47	2.46
13	2.39	2.32	2.36
14	2.33	2.38	2.36
15	2.39	2.35	2.37
น้ำออกจากระบบ			
บ่อบัด	2.33	2.38	2.36

ตารางผนวกที่ 19 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เปลี่ยนแปลงของน้ำตาลในช่องฤดูฝน

ลำดับจุดเก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)		ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555 ครั้งที่ 1	26 กรกฎาคม 2555 ครั้งที่ 2	
น้ำก่อนเข้าระบบ			
บ้ำบัด	17.92	17.36	17.64
1	3.76	3.72	3.74
2	3.71	3.72	3.72
3	3.75	3.73	3.74
4	4.11	4.09	4.10
5	4.13	4.11	4.12
6	4.10	4.12	4.11
7	3.67	3.72	3.70
8	3.69	3.70	3.70
9	3.71	3.68	3.70
10	3.96	3.89	3.93
11	3.90	3.85	3.88
12	3.84	3.86	3.85
13	3.83	3.79	3.81
14	3.78	3.79	3.79
15	3.79	3.75	3.77
น้ำออกจากระบบ			
บ้ำบัด	3.78	3.79	3.79

ตารางผนวกที่ 20 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เคเอ็นแปลงหญ้าดีกชี ในช่วงฤดูฝน

ลำดับจุดเก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)		ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555 ครั้งที่ 1	26 กรกฎาคม 2555 ครั้งที่ 2	
น้ำก่อนเข้าระบบ			
บ่อบัด	17.92	17.36	17.64
1	5.09	5.03	5.06
2	5.03	5.02	5.03
3	5.03	5.01	5.02
4	4.90	4.91	4.91
5	4.80	4.76	4.78
6	4.84	4.87	4.86
7	4.92	4.97	4.95
8	4.90	4.92	4.91
9	4.97	4.89	4.93
10	4.80	4.78	4.79
11	4.79	4.76	4.78
12	4.73	4.72	4.73
13	5.13	5.09	5.11
14	5.09	5.10	5.10
15	5.09	5.09	5.09
น้ำออกจากระบบ			
บ่อบัด	5.09	5.10	5.10

ตารางผนวกที่ 21 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เคเอ็นแปลงควบคุม ในช่วงฤดูแล้ง

ลำดับจุดเก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)		ค่าเฉลี่ย
	15 พฤษภาคม 2555	25 เมษายน 2556	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
น้ำก่อนเข้าระบบ			
บ่อบัด	12.32	28.56	20.44
1	14.08	14.06	14.07
2	14.12	14.15	14.14
3	14.18	14.14	14.16
4	15.10	14.28	14.69
5	13.82	13.84	13.83
6	13.50	13.48	13.49
7	13.38	13.40	13.39
8	13.42	13.42	13.42
9	13.54	13.49	13.52
10	14.22	14.20	14.21
11	13.74	13.78	13.76
12	13.82	13.78	13.80
13	13.49	13.51	13.50
14	13.58	13.56	13.57
15	13.62	13.64	13.63
น้ำออกจากระบบ			
บ่อบัด	13.58	13.56	13.57

ตารางผนวกที่ 22 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เคเอ็นแปลงหญ้าสดใน ช่วงฤดูแล้ง

ลำดับจุดเก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)		ค่าเฉลี่ย
	15 พฤษภาคม 2555	25 เมษายน 2556	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
น้ำก่อนเข้าระบบ			
บ่อบัด	12.32	28.56	20.44
1	3.05	3.01	3.03
2	3.01	2.98	3.00
3	3.05	3.04	3.05
4	3.20	3.17	3.19
5	3.15	3.19	3.17
6	3.15	3.17	3.16
7	3.25	3.22	3.24
8	3.30	3.26	3.28
9	3.24	3.19	3.22
10	3.29	3.24	3.27
11	3.25	3.23	3.24
12	3.27	3.29	3.28
13	3.41	3.39	3.40
14	3.40	3.35	3.38
15	3.35	3.40	3.38
น้ำออกจากระบบ			
บ่อบัด	3.40	3.35	3.38

ตารางผนวกที่ 23 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เปลี่ยนแปลงของน้ำตาลในช่องฤดูแล้ง

ลำดับจุดเก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)		ค่าเฉลี่ย
	15 พฤษภาคม 2555	25 เมษายน 2556	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
น้ำก่อนเข้าระบบ			
บ้ำบัด	12.32	28.56	20.44
1	5.21	5.18	5.20
2	5.19	5.23	5.21
3	5.20	5.18	5.19
4	5.34	5.31	5.33
5	5.31	5.29	5.30
6	5.35	5.31	5.33
7	5.62	5.58	5.60
8	5.59	5.63	5.61
9	5.63	5.58	5.61
10	5.80	5.82	5.81
11	5.79	5.76	5.78
12	5.81	5.76	5.79
13	6.10	6.12	6.11
14	6.06	6.09	6.08
15	6.05	6.06	6.06
น้ำออกจากระบบ			
บ้ำบัด	6.06	6.09	6.08

ตารางผนวกที่ 24 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เคเอ็นแปลงหญ้าดีกชี ในช่วงฤดูแล้ง

ลำดับจุดเก็บน้ำ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)		ค่าเฉลี่ย
	15 พฤษภาคม 2555	25 เมษายน 2556	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
น้ำก่อนเข้าระบบ			
บ่อบัด	12.32	28.56	20.44
1	7.10	7.14	7.12
2	7.09	7.11	7.10
3	7.13	7.09	7.11
4	7.30	7.28	7.29
5	7.26	7.22	7.24
6	7.28	7.31	7.30
7	7.40	7.39	7.40
8	7.36	7.41	7.39
9	7.39	7.36	7.38
10	7.56	7.53	7.55
11	7.53	7.50	7.52
12	7.60	7.54	7.57
13	7.96	7.94	7.95
14	7.96	7.98	7.97
15	7.95	8.01	7.98
น้ำออกจากระบบ			
บ่อบัด	7.96	7.98	7.97

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาววิไลลักษณ์ ไกรสมมาตร
วัน เดือน ปี ที่เกิด	16 ธันวาคม 2531
สถานที่เกิด	จังหวัดสมุทรสาคร
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรและสิ่งแวดล้อมศึกษา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-