



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน (แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน และทีเคเอ็น) ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสียที่ปลูกพืชรากยาวของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ

The Study of Changing of Nitrogen Content ($\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and TKN) in Treated Wastewater by Grass Filtration System with Long Root Plant of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project

นามผู้วิจัย นางสาวชญลักษณ์ เกิดทรัพย์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์คณิตา ตั้งคณานุรักษ์, วท.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน (แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน และ
ทีเคเอ็น) ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสียที่ปลูกพืชรากยาว ของโครงการ
ศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ

The Study of Changing of Nitrogen Content ($\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and TKN) in Treated Wastewater
by Grass Filtration System with Long Root Plant of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia
Environmental Research and Development Project

โดย

นางสาวธัญลักษณ์ เกิดทรัพย์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2557

ชัญลักษณ์ เกิดทรัพย์ 2557: การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน (แอมโมเนีย - ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน และทีเคเอ็น) ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบหุ้กรองน้ำเสียที่ปลูกพืชรากยาว ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์คณิตา ตั้งคณานุกรักษ์, วท.ม. 108 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การบำบัดไนโตรเจนด้วยระบบหุ้กรองน้ำเสีย ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ได้แก่ ฤดูกาล ชนิดของพืชรากยาว และระยะทางที่น้ำเสียไหลผ่านแปลงพืชแต่ละจุด โดยทำการตรวจวัดความเข้มข้นของปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเตรต-ไนโตรเจน และทีเคเอ็น ในน้ำก่อนเข้า และหลังออกจากระบบ และน้ำจากจุดเก็บตัวอย่าง 15 จุด ของแปลงพืชแต่ละแปลง ผลการศึกษา พบว่า ทั้งสองฤดูกาล คือฤดูฝนและฤดูแล้ง ความเข้มข้นโดยเฉลี่ยของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและทีเคเอ็น ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด คือ 0.5 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเตรต-ไนโตรเจน และทีเคเอ็น ที่ฤดูกาลต่างกัน และที่จุดเก็บน้ำในแปลงที่ระยะต่างๆ มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งพืชที่บำบัดไนโตรเจนได้ สูงที่สุด คือ ฐูปฤมา ร่องลงมาคือหญ้าแฝกอิน โดนิเซีย และกกกลม ตามลำดับ น้ำทิ้งที่ออกจากระบบหุ้กรองน้ำเสียมีปริมาณไนโตรเจนทั้งสามรูป ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ดังนั้นระบบหุ้กรองน้ำเสียสามารถใช้ในการกำจัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเตรต-ไนโตรเจน และทีเคเอ็นได้พร้อมกัน ในน้ำเสียชุมชน

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Tanyalak Kerdsap 2014: The Study of Changing of Nitrogen Content ($\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ and TKN) in Treated Wastewater by Grass Filtration System with Long 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 Kanita Tungkananuruk, M.Sc. 108 pages.

This research is aimed to study the effecting factors of the weather period, type of long root plants and the distance of wastewater which passed through the each plant plot on the treatment of nitrogen by the grass filtration system of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project. The concentration of ammonia-nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$), nitrate-nitrogen ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) and total Kjeldahl nitrogen (TKN) in influent, effluent and water sample at 15 collection points on each plot were determined. The results revealed that the average ammonia-nitrogen and total Kjeldahl nitrogen concentration in influent exceeded the standard level of 0.5 and 20 mg/L respectively at both periods (wet and dry). There was no significant different of the ammonia-nitrogen , nitrate-nitrogen and total Kjeldahl nitrogen concentration at the different period and distance which wastewater pass the each plant plot. *Typha angustifolia* had the highest removal of nitrogen followed by *Vetiveria zizanioides* and *Cyperus alternifolius* respectively. The discharge from grass filtration system containing nitrogen in three forms met the effluent quality standards. Therefore, the grass filtration system could be used in simultaneous removal of ammonia-nitrogen , nitrate-nitrogen and total Kjeldahl nitrogen in domestic wastewater

Student's signature

Thesis Advisor's signature

___ / ___ / ___

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ คณิตา ตังคณานุรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ร่วมที่ให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำ และสละเวลาในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จ
ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์คณะสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและ
คำสั่งสอนแก่ผู้วิจัย เพื่อนำความรู้ต่างๆ ไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต และขอขอบพระคุณ
โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ รวมถึง
ขอขอบพระคุณคณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือใน
การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนขอขอบคุณ เพื่อนานิสิตปริญญาโท สิ่งแวดล้อม รุ่น 35 ที่ให้ความ
ช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวเกิดทรัพย์ ที่คอยเป็นกำลังใจ
ในการศึกษาเล่าเรียน รวมทั้งได้เมตตา อบรม สั่งสอน และคอยให้ความรู้ ตลอดจนสนับสนุน
ทุนการศึกษามาจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ชัยลักษณ์ เกิดทรัพย์
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	70
สรุป	70
ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	72
ภาคผนวก	83
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	108

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะของน้ำเสียรวมจากแหล่งชุมชน	9
2	ปริมาณการใช้น้ำของครัวเรือนตัวอย่างในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี	10
3	ลักษณะน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ในช่วงเดือนเมษายน 2540 ถึงเดือนมีนาคม 2541	11
4	ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระที่มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำ	34
5	การเตรียมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ	48
6	การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรต-ไนโตรเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ	49
7	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้นของน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบบำบัด ห้ำากรองน้ำเสียในถุคฝนและถุคแล้ง	59
8	ปริมาณ ไนโตรเจนของน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดห้ำากรองน้ำเสียใน ถุคฝนและถุคแล้ง	62
9	ร้อยละการบำบัดไนโตรเจน	63
10	ร้อยละการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่ระยะทางต่างๆกันที่น้ำไหลผ่านแปลง พีช	67
11	ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน ที่ระยะทางต่างๆกันที่น้ำไหลผ่านแปลงพีช	67
12	ร้อยละการบำบัดทีเคเอ็น ที่ระยะทางต่างๆกันที่น้ำไหลผ่านแปลงพีช	68
13	ร้อยละการบำบัดสารอินทรีย์-ไนโตรเจน ที่ระยะทางต่างๆกันที่น้ำไหลผ่าน แปลงพีช	68
ตารางผนวกที่		
1	ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของถุคฝนในแปลงควบคุม	84
2	ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของถุคฝนในแปลงกกกลม	85
3	ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของถุคฝนในแปลงห้ำาแฝก อินโดนีเซีย	86
4	ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของถุคฝนในแปลงรูปถุคฝน	87
5	ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของถุคแล้งในแปลงควบคุม	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของถุคูเลี้ยงในแปลงกกลม	89
7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของถุคูเลี้ยงในแปลงหญ้าแฝก อิน โคนีเซีย	90
8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของถุคูเลี้ยงในแปลงรูปถุยี่	91
9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนของถุคูฝนในแปลงควบคุม	92
10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนของถุคูฝนในแปลงกกลม	93
11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนของถุคูฝนในแปลงหญ้าแฝก อิน โคนีเซีย	94
12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนของถุคูฝนในแปลงรูปถุยี่	95
13 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนของถุคูเลี้ยงในแปลงควบคุม	96
14 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนของถุคูเลี้ยงในแปลงกกลม	97
15 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนของถุคูเลี้ยงในแปลงหญ้าแฝก อิน โคนีเซีย	98
16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนของถุคูเลี้ยงในแปลงรูปถุยี่	99
17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอนด้วยวิธีเจดาค้ลของถุคูฝนในแปลงควบคุม	100
18 ผลการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอนด้วยวิธีเจดาค้ลของถุคูฝนในแปลงกกลม	101
19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอนด้วยวิธีเจดาค้ลของถุคูฝนในแปลงหญ้าแฝก อิน โคนีเซีย	102
20 ผลการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอนด้วยวิธีเจดาค้ลของถุคูฝนในแปลงรูปถุยี่	103
21 ผลการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอนด้วยวิธีเจดาค้ลของถุคูเลี้ยงในแปลงควบคุม	104
22 ผลการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอนด้วยวิธีเจดาค้ลของถุคูเลี้ยงในแปลงกกลม	105
23 ผลการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอนด้วยวิธีเจดาค้ลของถุคูเลี้ยงในแปลงหญ้าแฝก อิน โคนีเซีย	106
24 ผลการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอนด้วยวิธีเจดาค้ลของถุคูเลี้ยงในแปลงรูปถุยี่	107

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ภาพรวมของโครงการวิจัยบำบัดน้ำเสียและการกำจัดขยะ โดยการถมที่ดิน และปลูกป่าชายเลน	14
2	การหมุนเวียน สะสมและการเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารในพื้นที่แปลงหญ้า	19
3	การเคลื่อนย้ายของแก๊สออกซิเจนของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ	20
4	กกกลม (จันทบูรณ)	23
5	รูปถ่าย (1.ลักษณะต้น 2.ช่อดอก 3.ดอกตัวเมียที่เป็นหมัน 4.ดอกตัวเมียปกติ)	25
6	การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในสภาพน้ำท่วมขัง	26
7	ลักษณะแปลงหญ้าแฝกอินโดนีเซีย	27
8	วัฏจักรไนโตรเจน	31
9	ความสัมพันธ์ระหว่าง % NH_3 กับ pH	35
10	แปลงหญ้ากรองน้ำเสือกกกกลม, รูปถ่าย, หญ้าแฝกอินโดนีเซีย และแปลงควบคุม	50
11	ลักษณะพื้นที่และจุดเก็บน้ำตัวอย่างของระบบหญ้ากรองน้ำเสีย	52
12	จุดเก็บน้ำตัวอย่างจากท่อ PVC	52
13	เครื่องมือวิเคราะห์ทีเคเอ็น	54
14	ขั้นตอนการเกิดชั้นต่างที่กั้นขวดเจดาคัล	54
15	เครื่องกลั่นแยกแอมโมเนีย	55
16	เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย	57
17	แปลงกกกลม	57
18	แปลงรูปถ่าย	57
19	แปลงหญ้าแฝกอินโดนีเซีย	58
20	แปลงควบคุม	58
21	กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน	60
22	กราฟมาตรฐานไนเตรต-ไนโตรเจน	61
23	ชนิดพืชที่มีต่อการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน	64
24	ชนิดพืชที่มีต่อการบำบัดไนเตรต-ไนโตรเจน	65
25	ชนิดพืชที่มีต่อการบำบัดทีเคเอ็น	65
26	ชนิดพืชที่มีต่อการบำบัดสารอินทรีย์-ไนโตรเจน	66

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน (แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน และทีเคเอ็น) ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสียที่ปลูกพืชรากยาว ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ

The Study of Changing of Nitrogen Content ($\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and TKN) in Treated Wastewater by Grass Filtration System with Long Root Plant of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project

คำนำ

น้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีเป็นน้ำเสียชุมชนที่มีสารอินทรีย์เป็นมลสารหลัก อันได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และสารซักล้าง เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากชุมชนชาวเมืองเพชรบุรีประกอบกิจการทำขนมหวานที่มีชื่อเสียงเป็นส่วนใหญ่ ประกอบกับกิจกรรมในชีวิตประจำวัน วิธีการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีใช้ระบบหญ้ากรองน้ำเสีย (Grass Filtration) ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ซึ่งเป็นระบบบำบัดที่อาศัยธรรมชาติช่วยธรรมชาติ ตามแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว

งานวิจัยนี้ เห็นความสำคัญของการบำบัดไนโตรเจน ด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสียที่ต้องอาศัยกระบวนการที่เกิดขึ้นในวัฏจักรไนโตรเจน เช่น กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) ที่เปลี่ยนสารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นแอมโมเนีย และกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ที่เปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรต โดยพืชสามารถนำมาใช้ได้ ปริมาณไนโตรเจนมีความสำคัญต่อการบ่งชี้การเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำได้ เนื่องจากถ้ามีปริมาณไนโตรเจนเกินเกณฑ์มาตรฐาน จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน ดังนั้นวิธีการบำบัดนี้จะมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใดต่อการบำบัดไนโตรเจน ขึ้นกับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่เกิดขึ้น และปัจจัยต่างๆที่อาจมีผลต่อการบำบัด เช่น ฤดูกาล (ฤดูฝนและฤดูแล้ง) ระยะทางที่น้ำเสียไหลผ่านแปลงพืช และชนิดพืช ทั้งนี้เพื่อนำข้อมูลไปปรับปรุงพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียให้เกิดความสมบูรณ์ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในรูปต่างๆ และประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน และทีเคเอ็น ในระบบหมุนเวียนน้ำเสียที่ปลูกพืชรากยาว
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนของระบบหมุนเวียนน้ำเสียที่ปลูกพืชรากยาว



การตรวจเอกสาร

1. น้ำเสีย

1.1 ความหมายของน้ำเสีย

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 ให้ความหมาย น้ำเสีย หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมวลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลว นั้น (สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2535)

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีการปนเปื้อนของมลสาร สารเคมีที่เป็นพิษหรือมีสัดส่วนขององค์ประกอบผิดไปจากธรรมชาติ จนมีผลกระทบต่อสุขภาพและอนามัยของมนุษย์ สัตว์และพืช (เกษม, 2541)

น้ำเสีย หมายถึง ของเหลวหรือน้ำที่ผ่านการนำมาแล้วจากบ้านเรือน การประกอบธุรกิจการค้า การทำงานในสถานที่ต่าง ๆ การเกษตร หรือ โรงงานอุตสาหกรรม น้ำเสียมักมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ ปนเปื้อนมาทั้งในรูปแบบของสารแขวนลอยหรือละลายในน้ำ ซึ่งความสกปรกหรือความไม่น่าใช้จึงมีมากกว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งลักษณะน้ำเสียจะเป็นเช่นไรนั้นขึ้นอยู่กับ ชนิด จำนวน และรูปแบบของเสียในน้ำเสียนั้น ๆ (พัฒนา, 2539)

1.2 ประเภทของน้ำเสีย

กรมโรงงานอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2545) แบ่งประเภทของแหล่งกำเนิดน้ำเสียออกเป็น 3 แหล่ง คือ น้ำเสียชุมชน น้ำเสียจากกิจกรรมการเกษตร และน้ำเสียจากอุตสาหกรรม

1.2.1 น้ำเสียชุมชน หมายถึง น้ำที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ และระบายน้ำทิ้งลงสู่ที่ระบายน้ำ แหล่งน้ำรองรับน้ำเสีย 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 ความหมายของน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater, Sewage) หมายถึง น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยขนาดต่างๆ โรงแรม ตลาด รวมทั้งสำนักงาน น้ำเสียชุมชนเกิดจากกิจกรรมในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหารจากการปรุงอาหาร การล้างภาชนะรวมถึงสารต่างๆ ที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดเสื้อผ้า รถ บ้านเรือน ฯลฯ (กรมควบคุมมลพิษ, 2537) นอกจากนี้ Metcalf and Eddy (1991) กล่าวว่า น้ำเสียที่ปล่อยจากแหล่งที่พักอาศัย ย่านการค้า สถาบัน และส่วนอื่นๆ นี้มีลักษณะคล้ายกันนี้ อาจเรียกว่า Sanitary Wastewater

สุเทพ (2549) กล่าวว่า น้ำเสียชุมชน หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการทำกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันของประชาชนในชุมชน โดยมีแหล่งกำเนิดมาจาก อาคาร บ้านเรือน ร้านค้า ตลาดสด ภัตตาคารร้านอาหาร สถาบันการศึกษา สถาบันที่ราชการ โรงแรม โรงพยาบาลและห้างสรรพสินค้า เป็นต้น น้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่จะมีปริมาณสารอินทรีย์ (Organic Matter) ที่ย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางธรรมชาติ

ขวัญฤดี (2548) กล่าวว่า แหล่งกำเนิดน้ำเสียชุมชน คือ น้ำที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ ระบายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งรองรับน้ำเสีย หรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ได้ผ่านการบำบัดให้มีลักษณะดีขึ้นหรือสะอาดก่อน ซึ่งทำให้แหล่งน้ำมีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมลงและเน่าเสียในที่สุด กิจกรรมที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ทำให้เกิดน้ำเสียชุมชน ได้แก่

2.1.1 บ้านพักอาศัย น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยนั้นเกิดจากเศษอาหารจากการล้างจานและภาชนะหรือจากการปรุงอาหาร รวมถึงสารต่างๆที่เกิดจากการทำความสะอาดเสื้อผ้า สิ่งของต่างๆ ภายในบ้านและการอาบน้ำ ซึ่งบ้านพักส่วนใหญ่จะมีอัตราการระบายน้ำเสียประมาณ 150-216 ลิตรต่อคนต่อวัน หรือประมาณ 180 ลิตรต่อคนต่อวัน

2.1.2 ภัตตาคาร มีน้ำเสียเกิดจากห้องครัวและห้องส้วม โดยเฉพาะน้ำมันและไขมันจะมีปริมาณสูงในน้ำเสียจากห้องอาหารหรือภัตตาคาร อันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการอุดตันในท่อระบายน้ำเสีย

2.1.3 โรงแรม มีน้ำเสียจากห้องน้ำและห้องส้วมจากห้องพัก และห้องครัวจากภัตตาคารภายใน โรงแรม อาคารสำนักงาน มีน้ำเสียจากห้องน้ำห้องส้วม

2.1.4 กิจกรรมอื่นๆ เช่น สถานบริการอาคารพาณิชย์ โรงเรียน อาคารชุด ตลาด สถานบริการจำหน่ายน้ำมัน เป็นต้น

2.2 ลักษณะน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียเกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือนและอาคารประเภทต่าง ๆ ซึ่งน้ำเสียชุมชนที่ถูกปล่อยทิ้งจากบ้านเรือน อาคาร มีปริมาณน้ำเสียประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้ (โครงการศึกษาเพื่อจัดลำดับความสำคัญการจัดการน้ำเสียชุมชน, 2538) โดยแบ่งลักษณะของน้ำเสียชุมชนออกเป็น 3 ลักษณะได้ดังนี้

2.2.1 ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ

1) ปริมาณของแข็งทั้งหมด ประกอบด้วยปริมาณของแข็งที่แขวนลอย (TSS) และปริมาณของแข็งละลาย (TDS) ค่าปริมาณของแข็งจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสกปรกและความหนาแน่นของน้ำเสียได้ และยังสามารถบอกถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ ที่เลือกใช้ได้

2) กลิ่น ส่วนมากจะมาจากแก๊สที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เช่น แก๊สไข่เน่าเกิดจากจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยทำการเปลี่ยนสภาพของซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์

ซึ่งทำให้เกิดกลิ่น ถ้าต้องการกำจัดกลิ่นในน้ำเสียอาจใช้สารเคมีที่สามารถออกซิไดซ์สารที่ทำให้เกิดกลิ่นได้ เช่น คลอรีน หรือผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

3) อุณหภูมิของน้ำ เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงมากขึ้นกว่าปกติ จะมีผลทำให้ปฏิกิริยาชีวเคมีของพวกจุลินทรีย์สูงขึ้นตามไปด้วย ออกซิเจนละลายน้ำจะถูกใช้เพิ่มมากขึ้น และทำให้การเจริญเติบโตของพืชที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำมีมากกว่าปกติ และทำให้ออกซิเจนละลายน้ำลดลง

4) สี สีที่ปนเปื้อนในน้ำเสียส่วนมากเกิดจากโรงงานหลายๆ ประเภท เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานสีย้อม และโรงงานอื่นๆ น้ำเสียประเภทที่มีสีเกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานที่ปล่อยทิ้งออกมาสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะเป็นตัวขวางกั้นแสงแดดไม่ให้ส่องลงใต้น้ำ

5) ความขุ่น เกิดจากการมีสารแขวนลอยที่ลอยอยู่ในน้ำซึ่งจะกั้นหรือขวางแสงแดดไม่ให้ส่องลงใต้น้ำได้มากกว่า 100% เช่นเดียวกันกับสี น้ำที่มีความขุ่นมากจะทำให้ยากต่อการกรอง

2.2.2 ลักษณะน้ำเสียทางเคมี

1) สารอินทรีย์ ส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่สำคัญในน้ำเสียชุมชน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันและน้ำมัน ผงซักฟอก ฟีนอล และยาปราบศัตรูพืชปะปนมาเล็กน้อย โดยสารอินทรีย์ในน้ำเสียประมาณร้อยละ 60 ถึง 80 สามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ และสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนตัวอื่น ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพเนื่องจากข้อจำกัดด้านระยะเวลาและสภาพแวดล้อมภายในระบบบำบัดน้ำเสีย ในน้ำเสียผงซักฟอกและยาฆ่าแมลง อาจจะเป็นส่วนประกอบมากถึงร้อยละ 20-40 ของสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ (สุเทพ, 2550)

2) สารอนินทรีย์ ได้แก่ คลอไรด์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟต โลหะหนัก แก๊ส และสภาพความเป็นกรดและด่างของน้ำเสีย เป็นต้น

3) คลอไรด์ ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำเสีย ถ้ามีไม่มากจนเกินไป จะไม่มีอันตรายต่อมนุษย์ แต่จะมีผลทำให้น้ำมีรสเค็ม โดยปกติในน้ำประปาไม่ควรให้มีความเข้มข้นของคลอไรด์เกิน 250 มิลลิกรัมต่อลิตร

4) ไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญมีผลต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ดังนั้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพจำเป็นต้องมีไนโตรเจนอย่างพอเพียงแต่ถ้ามีมากเกินไปจะมีผลทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตมากหรือเรียกว่าสาหร่ายเบ่งบาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมปริมาณของไนโตรเจนของน้ำให้เหมาะสม

5) ฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่นเดียวกับไนโตรเจน ดังนั้นจึงต้องควบคุมปริมาณของฟอสฟอรัสให้เหมาะสม ไม่เช่นนั้นจะก่อปัญหาทำให้แหล่งน้ำเน่าเสียได้เช่นเดียวกับไนโตรเจน

6) พีเอช เป็นค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจน $[H^+]$ ในน้ำ ใช้บอกความเป็นกรดหรือด่างของน้ำทิ้ง เป็นค่าที่มีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี ฟิสิกส์และชีววิทยา และจำเป็นต้องควบคุมพีเอชของน้ำทิ้งให้คงที่หรือควบคุมให้อยู่ในช่วงที่จำกัด

7) ความเป็นกรดเป็นด่าง สภาพกรดของสารละลายใดๆคือ ความสามารถของสารละลายนั้นในการแตกตัวให้โปรตอน น้ำทิ้งที่มีสภาพกรด คำนวณเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตรของแคลเซียมคาร์บอเนตจะมีพีเอชต่ำกว่า 8.2 สภาพด่างของสารละลายใดๆคือความสามารถของสารละลายนั้นในการรับโปรตอน สภาพด่างของน้ำธรรมชาติหรือน้ำที่ผ่านการบำบัดเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภคเกิดขึ้นจากองค์ประกอบของสารละลายไบคาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์ น้ำทิ้งที่มีสภาพด่าง คำนวณเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตรของแคลเซียม-คาร์บอเนต จะมีพีเอชสูงกว่า 4

8) แก๊สที่พบในน้ำเสียเป็นแก๊สไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย และมีเทน ซึ่งแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่มีอากาศ และตัวการที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นในน้ำเสียคือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย และมีเทน ถ้าซัลไฟด์ไปรวมตัวกับเหล็กจะเกิดเป็นเฟอร์รัสซัลไฟด์ซึ่งทำให้น้ำเสียมีสีดำเกิดขึ้น

9) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ น้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพดีจะมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ประมาณ 5-7 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้การละลายของออกซิเจนลดลงหรือถ้าในน้ำมีสิ่งมีชีวิตที่ต้องการออกซิเจนมากก็มีผลทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงเช่นกัน ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของน้ำ คือ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี เป็นค่าที่ใช้วัดปริมาณออกซิเจนซึ่งใช้โดยแบคทีเรียเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) และความต้องการออกซิเจนอยู่ทางเคมี (COD) เป็นค่าที่ใช้วัดปริมาณสารอินทรีย์ที่มีในน้ำด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

2.2.3 ลักษณะน้ำเสียทางชีววิทยา

ประกอบด้วยจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรีย สาหร่าย ฟังไจ โปรโตซัว โรติเฟอร์ คัสตาเซียน และไวรัส กลุ่มจุลินทรีย์ที่ศึกษาพบบางชนิดมีอยู่เดิมในแหล่งน้ำ บางชนิดถูกนำมาสู่แหล่งน้ำ จากอากาศ ดิน ของเสียจากโรงงาน และบ้านเรือน สำหรับจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำผิวดิน เกิดจากการชะล้างในขณะฝนตก แล้วไหลผ่านพื้นดินลงมารวมกันในแหล่งน้ำ จึงทำให้มีจำนวนและชนิดของจุลินทรีย์แตกต่างกันมาก และถ้าแหล่งน้ำมีสารอาหารจำนวนมาก ส่งผลให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนจะดึงออกซิเจนในน้ำไปใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ และทำให้ระดับของออกซิเจนละลายน้ำลดลง เกิดสภาพน้ำเสีย สำหรับจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียที่อยู่มากในแหล่งน้ำ ได้แก่ Coliform, Faecal Streptococci, Proteus, Bacillus, Clostridium, Sphaerotilus, Beggiatoa, Thiothrix, Thiobacillus และอื่นๆ ในแหล่งน้ำที่ไม่ค่อยมีสารอินทรีย์จะพบแบคทีเรียที่แตกหน่อได้หรือพวกที่มีรยางค์ เช่น Hyphomicrobium, Caulobacter, Nitrosomonas, Nitrobacter เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบเชื้อราหลายชนิด เช่น Ascomycetous, Phycomycetous และ Fungi imperfecti

3. น้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี

น้ำเสียเทศบาล (Municipal Wastewater) หมายถึง น้ำโสโครกที่อยู่ในท่อน้ำที่โสโครกของเทศบาล ตามปกติจะมีน้ำโสโครกที่ปล่อยออกจากชุมชน บางแห่งเทศบาลอนุญาตให้โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ถายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายรวมกับน้ำเสียชุมชนได้ ทำให้มีความสกปรกมากขึ้น (เปี่ยมศักดิ์, 2539) ในประเทศไทย ชุมชนเมืองทั่วไป น้ำเสียส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดเกิดจากชุมชน และประชากร ดังนั้น น้ำเสียเทศบาลจึงถูกให้ความหมายใกล้เคียงกับน้ำเสียชุมชน

(สุรศักดิ์, 2540) ซึ่งน้ำเสียชุมชนจัดได้ว่าเป็นน้ำเสียที่มีส่วนประกอบค่อนข้างคงที่ ดังนั้นจึงใช้เป็นตัวอย่างสำหรับการศึกษาที่ดี สำหรับน้ำเสียเทศบาล (เปี่ยมศักดิ์, 2539)

3.1 ลักษณะน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี

ในภาพรวมของคุณลักษณะน้ำเสียชุมชนนั้น อากรณ์ (2539) ได้กล่าวว่า น้ำเสียชุมชนมีสมบัติทางเคมีเป็นกลางมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างไม่แตกต่างกันมากนัก สิ่งสกปรกในน้ำทิ้งมีทั้งสารอินทรีย์ทั้งที่เป็นของแข็งและสารละลาย นอกจากนี้ยังมีเชื้อโรคและพยาธิปนอยู่ด้วย แต่สิ่งสกปรกที่สำคัญที่สุดได้แก่ สารอินทรีย์ซึ่งมีจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ สำหรับตัวอย่างลักษณะของน้ำเสียรวมจากแหล่งชุมชน เมื่อมีการระบายลงสู่ท่อน้ำเพื่อนำไปกำจัดที่ระบบบำบัดน้ำเสียของทางราชการและลักษณะของน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีนั้นแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะของน้ำเสียรวมจากแหล่งชุมชน

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: ปราณี (2537) ; เกษม (2540)

ขนิษฐา (2538) ทำการศึกษาถึงการใช้น้ำในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่า ปริมาณการใช้น้ำของครัวเรือนในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี ปริมาณการใช้น้ำเท่ากับ 60.55 ลิตรต่อคนต่อวัน ดังตารางที่ 2 โดยร้อยละ 98.7 ของแหล่งน้ำอุปโภคของครัวเรือนเป็นน้ำประปา และน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการใช้น้ำร้อยละ 95.06 ถูกปล่อยลงท่อระบายน้ำทิ้งสาธารณะของเทศบาล

ตารางที่ 2 ปริมาณการใช้น้ำของครัวเรือนตัวอย่างในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี

กิจกรรม	ปริมาณน้ำที่ใช้ (ลิตร/คน/วัน)	ร้อยละ ของน้ำที่ใช้	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)

จากการศึกษาของ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย (2541) พบว่า ลักษณะน้ำเสียชุมชนของเทศบาลเมืองเพชรบุรี มีคุณสมบัติบางประการ ดังแสดงในตารางที่ 3 ดังนี้

อุณหภูมิ พบว่า อุณหภูมิของน้ำมีค่าเฉลี่ยตลอดปี 29.3 องศาเซลเซียส ในขณะที่บริเวณบ่อรวมน้ำเสียเทศบาลมีค่า 31.4 องศาเซลเซียส

ความเป็นกรดเป็นด่าง พบว่า มีค่าเฉลี่ย 6.9 จัดอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ และอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร ในขณะที่บ่อรวมน้ำเสียของเทศบาลมีค่า 6.8 ซึ่งมีค่าไม่ต่างกันมากนัก

ความขุ่น พบว่า มีความขุ่นเฉลี่ย 178.8 เอ็นทียู ในขณะที่บ่อรวมมีค่าความขุ่นเฉลี่ย 22 เอ็นทียู พบว่าความขุ่นแต่ละเดือนแตกต่างกัน เนื่องจากน้ำฝนอาจทำให้ความขุ่นเจือจาง

ของแข็งทั้งหมด พบว่า มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 2,690 มิลลิกรัมต่อลิตรสำหรับบ่อน้ำเสียรวมมีค่าเท่ากับ 695 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ พบว่า มีค่าเฉลี่ยตลอดปี 1.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่บ่อรวมน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีมีค่าไม่ต่างกันมากนักคือเฉลี่ย 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

บีโอดีและซีโอดี พบว่า บีโอดี มีค่าเฉลี่ย 555.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่บ่อรวมน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีมีค่า 55.1 มิลลิกรัมต่อลิตร การที่บีโอดีมีการเปลี่ยนแปลงเชิงอาจลงมากเนื่องจากในเขตเทศบาลน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดจะถูกทำลายมาสู่ระบบบำบัดโดยอาศัยท่อระบายน้ำเสียรวม ซึ่งท่อระบายน้ำเสียจะรวมน้ำฝนเข้าไปด้วยทำให้ค่าบีโอดีที่แหล่งกำเนิดมีค่าสูงกว่าเมื่อถูกทำลายมายังบ่อรวมน้ำเสียและพบว่าค่าบีโอดีมีความผันแปร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาด้วย และค่าซีโอดีในเขตเทศบาลมีค่าเฉลี่ย 1,120.3 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับค่าซีโอดีในน้ำเสียที่บ่อรวมมีค่า 161.4 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจน ในเขตเทศบาลมีค่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่เมื่อน้ำถูกทำลายมายังบ่อรวมน้ำเสียจะมีค่าลดลงเหลือ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าไม่เกินจากที่มาตรฐานน้ำทิ้งกำหนดไว้ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) และเมื่อเทียบกับปริมาณที่ตรวจพบการปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชนจากแหล่งอื่นพบว่า อยู่ในระดับที่เจือจาง

ตารางที่ 3 ลักษณะน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ในช่วงเดือนเมษายน 2540 ถึงเดือนมีนาคม 2541

ลักษณะน้ำเสีย	ค่าเฉลี่ย		หมายเหตุ
	ในเขตเทศบาล	ในบ่อรวมน้ำเสีย	
อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	29.3	31.4	
ความเป็นกรดเป็นด่าง	6.9	6.8	
ความขุ่น(เอ็นทียู)	178.8	22	
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.3	1.2	
ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,120.3	161.4	
ค่าบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	555.1	55.1	
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	2,690	695	
ปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.3	0.1	

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2541)

3.2 ผลกระทบของน้ำเสียชุมชนต่อสิ่งแวดล้อม

เกษม (2541) ได้สรุปผลกระทบจากความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำไว้ดังนี้

3.2.1 การประมง น้ำเสียชุมชนทำให้สัตว์น้ำต่างๆ เช่น ปลา กุ้ง หอย ดาหรืหรือค้อยๆ ลดลง เพราะขาดแก๊สออกซิเจนหรือการลดลงของออกซิเจนตามลำดับ เพราะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการหายใจย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ ส่งผลทำให้ขาดออกซิเจน และไม่สามารถดำรงชีวิตและแพร่พันธุ์ได้ตามธรรมชาติ ส่วนน้ำเสียที่เกิดจากสารเป็นพิษ เช่น สารกำจัดแมลงศัตรูพืชและวัชพืช พบในบริเวณสวนผักและสวนผลไม้ อาจทำให้ปลาตายได้ทันที แต่ก็อาจทำลายสัตว์น้ำเล็กๆ และพืชที่เป็นอาหารของปลาและตัวอ่อนทำให้ปลาขาดอาหาร ในที่สุดปลาก็จะลดจำนวนลงก่อให้เกิดผลเสียหายต่อการประมงยิ่งขึ้น ปริมาณแก๊สออกซิเจน ที่ละลายในน้ำถ้าหากลดลงมากๆ ในทันทีก็อาจทำให้ปลาตายได้ นอกจากนี้ น้ำเสียยังทำลายแหล่งเพาะวางไข่ของปลา เนื่องจากการตกตะกอนของสารแขวนลอยในน้ำเสียปกคลุมพื้นที่การวางไข่ของปลา ซึ่งเป็นการหยุดยั้งการแพร่พันธุ์ของสัตว์น้ำได้โดยทางอ้อม น้ำเสียที่ทำให้ธรรมชาติของแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลง เช่น ความร้อนจากน้ำทิ้งใช้ระบบหล่อเย็น จากโรงงานอุตสาหกรรมทำให้อุณหภูมิปกติของแหล่งน้ำเพิ่มขึ้นจนปลาไม่อาจอยู่ได้และไม่อาจแพร่พันธุ์ตามธรรมชาติ น้ำมันที่ทิ้งลงสู่แหล่งน้ำโดยการรั่วไหลจากเรือจะไปปกคลุมผิวน้ำ เพราะปกติน้ำมันจะไม่รวมตัวกับน้ำเพราะมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ทำให้การเติมออกซิเจน จากอากาศบนผิวน้ำตามธรรมชาติเป็นไปได้ยาก ซึ่งเป็นการขัดขวางการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายตามธรรมชาติ

3.2.2 การสาธารณสุข น้ำเสียเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน เพราะมักก่อให้เกิดโรคระบาด เช่น อหิวาตกโรค ไข้ไทฟอยด์ โรคบิด เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดโรคซึ่งไม่ใช่โรคที่เกิดจากเชื้อโรคเป็นตัวนำ ส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีมลสารที่เป็นพิษเจือปน สารเป็นพิษเหล่านี้ทำให้เกิดโรคทำลายสุขภาพอนามัยของประชาชนทั้งโดยตรงและโดยอ้อม เช่น โรคมีนามาตะ เกิดจากคนรับประทานปลาที่มีสารปรอทสูง เป็นต้น

3.2.3 การผลิตน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค น้ำเสียกระทบต่อการผลิตน้ำดื่มเพราะแหล่งสำหรับผลิตประปาส่วนใหญ่ ได้แก่ แม่น้ำ ลำคลอง เมื่อแหล่งน้ำเกิดเน่าเสีย คุณภาพน้ำลดลงค่าใช้จ่ายในการผลิตเพื่อให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเข้าเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มก็จะต้องเพิ่มขึ้น เมื่อแหล่งน้ำเสียเพิ่มขึ้น การเลือกแหล่งน้ำเพื่อการประปาก็ยิ่งยากขึ้นและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้น

3.2.4 การเกษตรกรรม น้ำเสียที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อการเกษตรที่เกี่ยวกับการผลิตพืชส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียที่มีความเค็มและมีโซเดียมสูง มีความเป็นกรดเป็นด่างสูง มีปริมาณเกลืออนินทรีย์สูงหรือสารเป็นพิษปะปนอยู่ แต่ถ้การเกษตรที่เกี่ยวกับการเลี้ยงสัตว์มักเกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนของสิ่งขับถ่ายของสัตว์ทั้งอุจจาระและปัสสาวะซึ่งมีโอกาสปนเปื้อนแหล่งน้ำในประเทศเรามากที่สุด เพราะการเลี้ยงสัตว์แบบธุรกิจมักเลี้ยงใกล้แม่น้ำเนื่องมาจากต้องใช้น้ำมาก

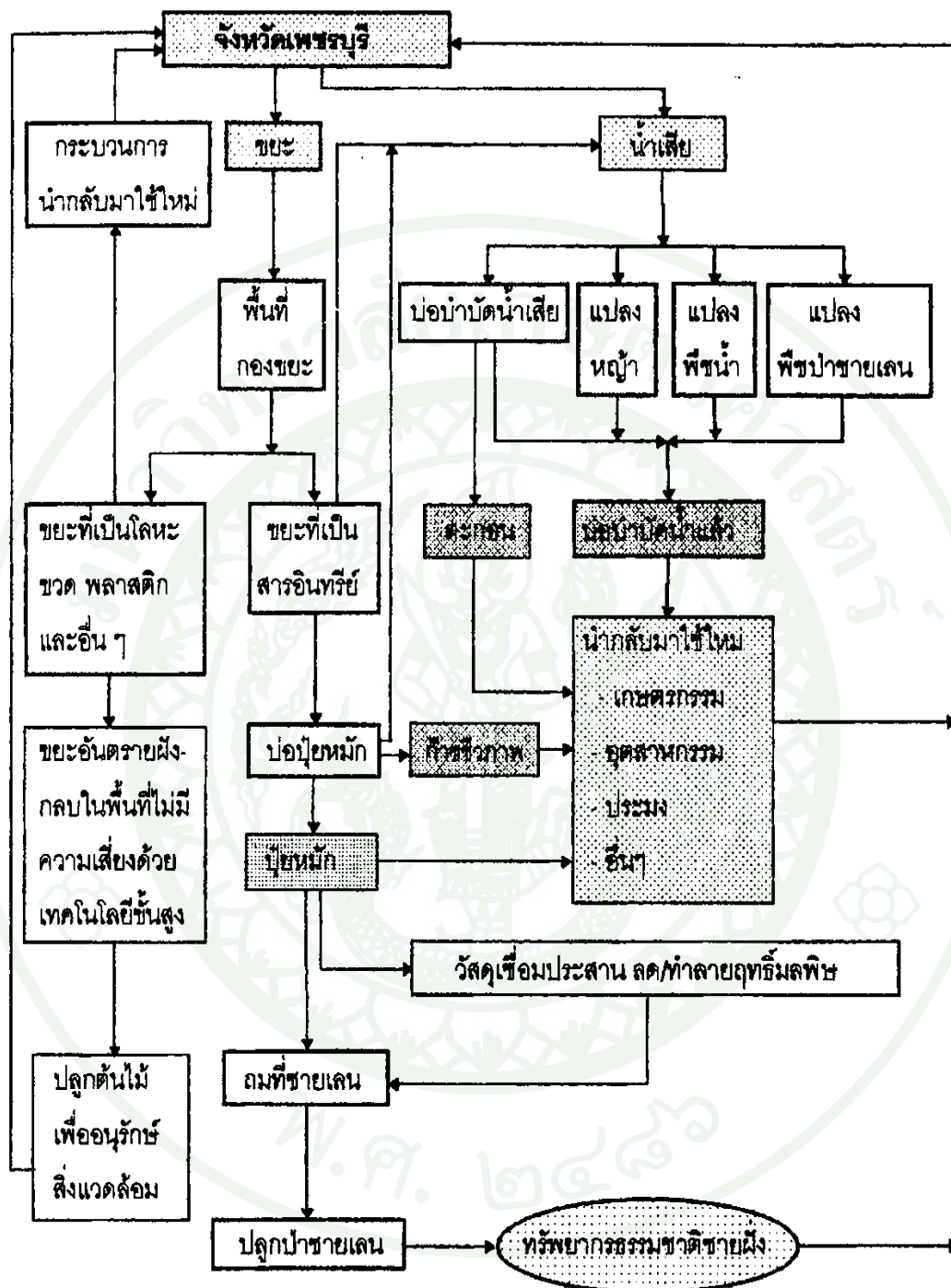
3.2.5 ความสวยงามและการพักผ่อนหย่อนใจ แม่น้ำลำธาร แหล่งน้ำอื่นๆ ที่สะอาด เป็นความสวยงามตามธรรมชาติ ผู้คนใช้เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ ในการว่ายน้ำ ตกปลา เล่นเรือและอื่นๆ ถ้หากแหล่งน้ำเหล่านี้เกิดการเน่าเสียหรือปล่อยให้มีขยะลอยอยู่ เช่น กulong โฟม ถุงพลาสติก เป็นต้น ก็ไม่เหมาะสมต่อการใช้เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ และยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพจิตและสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณแหล่งน้ำเน่าเสียอีกด้วย

4. การบำบัดน้ำเสียของชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี

4.1. โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

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

ปริมาณน้ำเสียที่สูบจากสถานีบ่อรวมน้ำเสียลำเลียงไปตามท่อไปยังพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ มีปริมาณการสูบน้ำเสียในเดือนเมษายน-กันยายน พ.ศ. 2547 เฉลี่ย 1,768.69 2,929.00 3,406.34 2,589.72 2,318.62 และ 2,591.12 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เมื่อน้ำเสียลำเลียงมายังโครงการจะถูกส่งไปยัง บ่อบำบัดน้ำเสีย แปลงหล้ากรองน้ำเสีย แปลงพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม และแปลงป่าชายเลน



ภาพที่ 1 ภาพรวมของ โครงการวิจัยบำบัดน้ำเสียและการกำจัดขยะ โดยการถมที่ดิน และปลูกป่าชายเลน

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2541)

4.2 การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรอง

การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรอง (Grass Filtration) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่เลียนแบบการบำบัดน้ำเสียในธรรมชาติ และดัดแปลงของระบบของพื้นที่ชุ่มน้ำ และระบบนิเวศนาข้าวมาประยุกต์ใช้ โดยนำน้ำเสียมาไหลผ่านพื้นที่ที่มีความลาดเอียงที่ทำการปลูกหญ้าหรือพืช ซึ่งเป็นการเลียนแบบจากสภาพธรรมชาติของพื้นที่ที่มีสภาพเป็นทุ่งหญ้า เมื่อน้ำเสียได้ไหลผ่านพื้นที่ที่มีลักษณะเช่นนี้จะเกิดกระบวนการทางธรรมชาติที่ช่วยในการบำบัดน้ำเสีย โดยหญ้าหรือพืชจะชะลอความเร็วและความแรงของน้ำ ขณะเดียวกันน้ำเสียก็จะถูกดักหญ้าหรือพืชน้ำสารที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียไปใช้ ลำต้นและใบของต้นหญ้าหรือพืช จะทำงานร่วมกับดิน และจุลินทรีย์เกิดกลไกที่เปรียบเสมือนเป็นการกรองเอาสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสีย ทำให้สิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสียลดน้อยลงตามระยะทางที่น้ำเสียได้ไหลผ่าน น้ำเสียเหล่านั้นจึงค่อยๆ ได้รับการบำบัดให้มีคุณภาพดีขึ้นตามกระบวนการทางธรรมชาติ ซึ่งในการศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรองในครั้งนี้เป็นการให้น้ำเสียเข้าไปสู่ระบบบำบัดในลักษณะเลื่อนไหลในแนวระดับ (Horizontal) และระบายน้ำเสียในลักษณะการขังน้ำสลับแห้ง เพื่อเป็นต้นแบบแปลงหญ้ากรองที่จะนำไปพัฒนาไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียต่อไป

4.3 โครงสร้างและลักษณะการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรอง

การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรองเป็นการนำหลักการของการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำมาประยุกต์ใช้ โดยโครงสร้างของแปลงหญ้ากรองได้สร้างเลียนแบบธรรมชาติมีขนาด 5x100 ตารางเมตร คันดินสูงประมาณ 1 เมตร พื้นดินเป็นดินอัดแน่นปรับพื้นที่ให้มีความลาดชัน 1:1000 และรองพื้นด้วยทรายหยาบสูง 20 เซนติเมตร ให้มีความลาดชัน 1:1000 เช่นกัน เพื่อให้ น้ำเสียได้ไหลในอัตราที่เหมาะสม ส่วนดินที่ใช้ส่วนบนเป็นดินผสมในสัดส่วน ดิน : ทราย เท่ากับ 3:1 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากทำให้การยึดเกาะและการเจริญเติบโตของหญ้า และการเจริญของจุลินทรีย์ในดินอยู่ในระดับที่เหมาะสม เป็นชั้นความหนา 50 เซนติเมตร (สิทธิชัย, 2538) เมื่อปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดในลักษณะเลื่อนไหลในแนวระดับน้ำจะไหลผ่านเคลื่อนที่ไปตามระยะทางและความลาดชันทำให้น้ำเสียนั้นได้รับการเติมออกซิเจน นอกจากนี้ น้ำเสียจะได้รับการบำบัดในแนวตั้งเมื่อไหลผ่านตัวกลางคือ ดินและหญ้า โดยวิธีทางกายภาพ เคมีและชีววิทยา ส่วนการนำหลักการของระบบนิเวศดินนามาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยการระบายน้ำเสียในลักษณะการขังน้ำสลับแห้งนั้น จะช่วยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และชีววิทยา ซึ่งจะมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ การถ่ายทอดอิเล็กตรอนของสารต่างๆใน

ดิน และการดูดซึมธาตุอาหารและโลหะหนักโดยหญ้า โดยจากการศึกษาของ Kadlac (1962) พบว่า ในช่วงที่น้ำแห้งจะก่อให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารต่างๆ ที่วิกฤต ในขณะที่ธาตุอาหาร เหล่านั้นจะไม่เป็นประโยชน์กับพืชเลยภายใต้สภาวะน้ำท่วมขังอย่างถาวรและอยู่ในสภาพไร้ ออกซิเจน การที่น้ำท่วมขังสลับกับการที่แห้งจะเหมาะสมกับพืชบางชนิด และยังก่อให้เกิดการ เปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตอื่นด้วย และจากการศึกษาของ เฟ็มพูน (2528) พบว่าดินน้ำ ขังมีเสถียรภาพ ทำให้อัตราการย่อยสลายอินทรีย์เป็นไปอย่างช้าๆแต่ถ้ามีการระบายน้ำออกจากดิน แล้วเติมน้ำให้ขังใหม่ อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์จะเป็นไปอย่างรวดเร็ว

4.4 กลไกการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรอง

กลไกการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรองเป็นการนำกลไกการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พื้นที่ ชุ่มน้ำและหลักการของระบบนิเวศดินนา โดยการระบายน้ำเสียในลักษณะการขังน้ำสลับแห้งมา ประยุกต์ใช้ ซึ่งตัวกลางสำคัญที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียคือ ดินและพืช มีหลักการดังนี้

4.4.1 หลักการบำบัดน้ำเสียแบบการขังน้ำสลับแห้ง

การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรองในครั้งนี้ ได้ใช้หลักการระบายน้ำแบบการขัง น้ำสลับแห้ง (Flooding and Drying) ซึ่งเป็นการนำหลักการของระบบนิเวศดินนามาประยุกต์ใช้ในการ บำบัดน้ำเสีย โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และชีววิทยาที่เกิดขึ้นสองแบบในแต่ละรอบ ของการทดลองบำบัดน้ำเสีย นั่นคือ สภาพที่มีออกซิเจน (Aerobic หรือ Oxidative) เมื่อมีการระบาย น้ำออกปล่อยให้ดินแห้ง และสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic หรือ Reductive) เมื่อมีการปล่อยน้ำ เข้าแปลงและขังน้ำไว้ ในการเกิดสภาพไม่มีออกซิเจน จะมีผลดีและผลเสียต่อระบบนิเวศเมื่อดินมี การขังน้ำ ทั้งนี้ขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของดิน และปัจจัยที่ควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์ เมื่อมี การขังน้ำและระบายน้ำออกให้ดินแห้งบางส่วน (สิทธิชัย, 2538) ซึ่งการขังน้ำดังกล่าวทำให้เกิดการ บำบัดน้ำเสียได้ดังนี้

1) การเกิดสภาพที่ไม่มีออกซิเจน

เมื่อดินมีน้ำขังการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างอากาศในดิน และบรรยากาศจะถูก ยับยั้ง ซึ่งโดยปกติออกซิเจนในอากาศจะเข้าไปสู่ดินโดยการแพร่กระจาย (Diffusion) แต่เมื่อดินถูก น้ำขัง การแพร่กระจายของออกซิเจนจะต้องผ่านชั้นของน้ำที่อยู่เหนือดิน ทำให้อัตราการ

แพร่กระจายผ่านเข้ามาเข้ามา (1/1000 เท่าของในบรรยากาศ) จากนั้นดินก็จะอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ออกซิเจนที่มีอยู่เดิมซึ่งถูกกักเก็บไว้ตามช่องว่างในดินที่ถูกน้ำขัง จะถูกจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน (Aerobic Bacteria) และจุลินทรีย์ที่อยู่ได้ทั้งที่ต้องการออกซิเจนและไม่ต้องการออกซิเจน (Facultative Anaerobic Bacteria) นำมาใช้ในการหายใจจนหมดไปอย่างรวดเร็ว และจะเกิดการเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สอื่นๆในดิน โดยการสะสมและค่อยๆเพิ่มความกดดันจนเกิดเป็นฟองสูญหายไปจากดิน องค์ประกอบของแก๊สที่เปลี่ยนแปลงไปในดินที่ขังน้ำขังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวภาพของระบบได้ (ไพบูลย์, 2528 ; ทัศนีย์, 2534)

2) การเกิดรีดักชันที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสีย

ภายหลังจากการขังน้ำ ทำให้ออกซิเจนในดินถูกใช้หมดโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน หลังจากนั้นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนจะหยุดกิจกรรม ชะงักการเติบโตและตายไป ส่วนจุลินทรีย์ที่อยู่ได้พวกที่ต้องการออกซิเจนและไม่ต้องการออกซิเจนจะเริ่มหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้สารประกอบต่างๆในดินซึ่งมีระดับออกซิเดชันสูงเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งได้มาจากอินทรีย์วัตถุก่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน สารประกอบที่มีความสามารถในการเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในดินนั้น ได้แก่ ไนเตรต แอมโมเนียซัลเฟต และสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งได้มาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆ ตามลำดับทาง Thermodynamic โดยที่เคมีพลศาสตร์ของการเกิดรีดักชัน ตลอดจนปริมาณของสารที่ได้เกิดจากการรีดักชันขึ้นอยู่กับปัจจัย 5 ประการ คือธรรมชาติและปริมาณของอาหารจุลินทรีย์ (อินทรีย์วัตถุ) หรือตัวให้อิเล็กตรอน อุณหภูมิ พีเอช ปริมาณและชนิดของตัวรับอิเล็กตรอนและระยะเวลาที่มีน้ำขัง (สิทธิชัย, 2538)

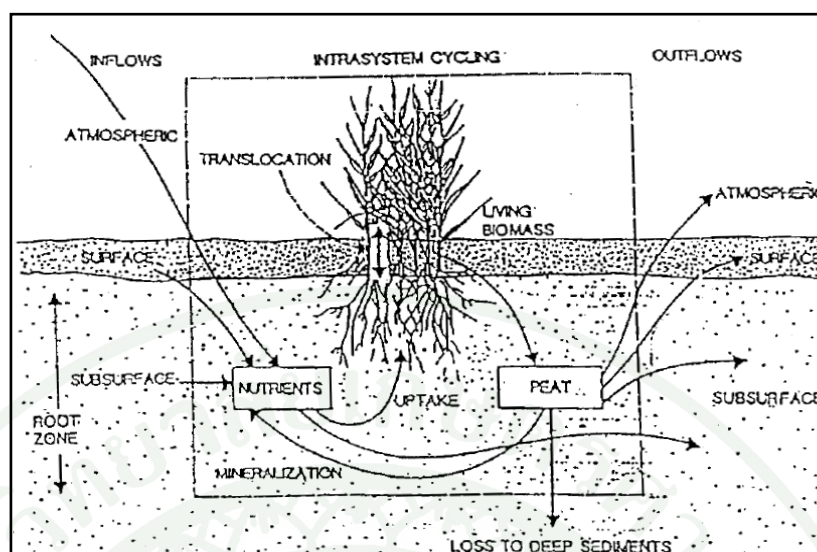
3) การประยุกต์การเปลี่ยนแปลงของดินที่มีน้ำขังในการบำบัดน้ำเสีย

จากการที่ดินถูกน้ำขังจนเกิดสภาพที่ไม่มีออกซิเจน จะทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน และทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนแปลงไป ซึ่ง วิศิษฐ์ และคณะ (2524) ได้กล่าวไว้ โดยสรุปได้ดังนี้ Redox Potential (Eh) ของดินลดลง ค่าพีเอชของดินกรดจะเพิ่มขึ้นและค่าพีเอชของดินด่างจะลดลงการนำไฟฟ้าจำเพาะ (Specific Conductance) และความเข้มข้นของไอออน (Ionic Strength) เปลี่ยนแปลงไป สมดุลของแร่ในดินจะเปลี่ยนไป เกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนบวกและไอออนลบ เกิดการดูดซับและปลดปล่อยไอออน เกิดคิโนทรินิเฟชัน การสะสมแอมโมเนีย เกิดการรีดิวท์เหล็กและแมงกานีส การสะสมผลิตภัณฑ์ของ Anaerobic Metabolism ที่เกิดโดยจุลินทรีย์ เกิดการรีดิวท์ซัลเฟต

ผลของการรีดักชันทำให้ฟอสฟอรัสและซิลิโคนละลายน้ำได้มากขึ้นและเกิดการแทนที่ของอออนบวกของเหล็กและแมงกานีสกับโปแตสเซียม และอออนอื่นๆ ทำให้อออนบวกที่ ถูกแทนที่เหล่านั้นมีอยู่ในน้ำในดิน (Soil Solution) มากขึ้น จากผลการขังน้ำที่มีต่อคุณสมบัติทางเคมีของดินตามที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้คาดว่าเมื่อใช้การระบายน้ำเสียในลักษณะการขังน้ำสลักกับการระบายน้ำออกให้ดินแห้ง ทำให้เกิดสภาวะรีดักชันและออกซิเดชันสลับกัน จะสามารถนำมาใช้ร่วมกับพืชในระบบการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีห้ำกรอง เพื่อลดปริมาณสารปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสียได้ไม่ว่าจะเป็น บีโอดี, ซีโอดี, โลหะหนัก, ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษาของปรกรณ์ (2540) ถึงการเปลี่ยนธาตุอาหารพืชและโลหะหนักในระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ดินในสภาพน้ำขังสลักแห่งร่วมกับพืช พบว่า ธาตุอาหารพืชได้แก่ ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โปแตสเซียมและโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม, โครเมียม, นิกเกิล ในน้ำที่ออกจากแปลงมีปริมาณลดลงจากเดิม โดยธาตุอาหารส่วนที่ลดลงนั้นพบสะสมอยู่ในดินและพืช แต่โลหะที่ลดลงพบสะสมอยู่เฉพาะในพืช

4.5 การนำพืชมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

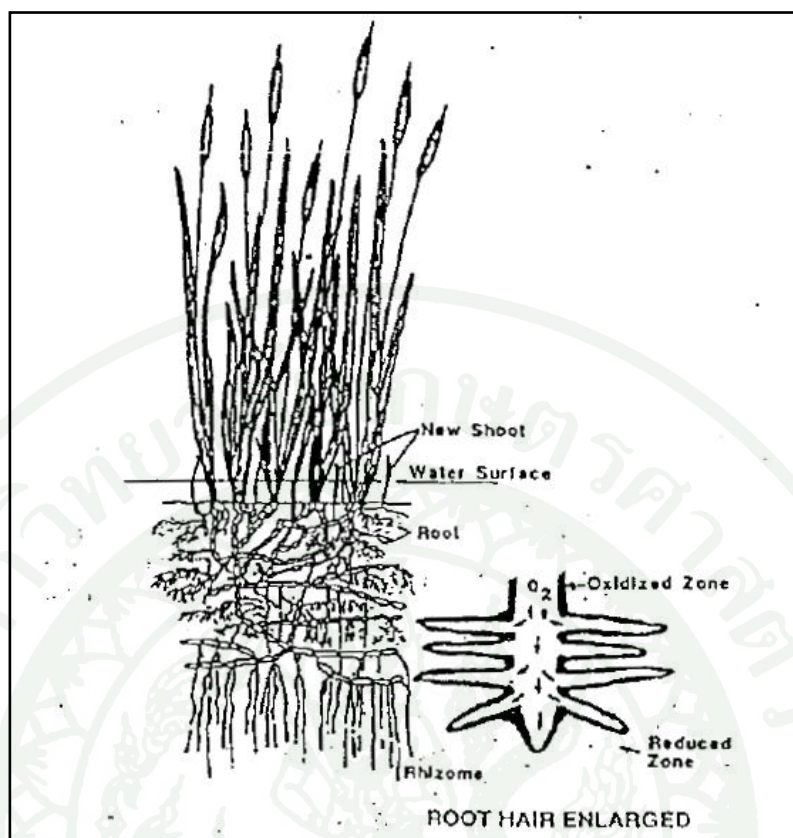
ในระบบการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีห้ำกรองเปรียบได้เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำประเภทหนึ่งที่มีความสมดุลของมวลภายในระบบ โดยมีการหมุนเวียนของธาตุอาหารและสารเคมีต่างๆอย่างสมดุล (William และ Patrick, 1994) ดังแสดงในภาพที่ 2 ที่เกิดจากกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ชุ่มน้ำนั้น เช่นการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) การดูดซับ (Adsorption) การตกตะกอน (Precipitation) การกรอง (Filtration) การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complexation) กระบวนการดูดซึม (Uptake)ธาตุอาหาร กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) เป็นต้น ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะช่วยในการเปลี่ยนรูป หรือบำบัดสารปนเปื้อนที่อาจเป็นสารพิษ หรือสารที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำไปอยู่ในรูปที่ปลอดภัยต่อแหล่งน้ำ



ภาพที่ 2 การหมุนเวียน สะสมและการเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารในพื้นที่แปลงหญ้า

ที่มา: William and Patrick (1994)

สำหรับพืชนั้นนอกจากจะช่วยการบำบัดน้ำเสียโดยการดูดซึมธาตุอาหาร โลหะหนักและสารอื่นๆ ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตโดยผ่านระบบรากก่อนเข้าสู่ลำต้นแล้ว ระบบรากของพืชยังเป็นส่วนสำคัญในการบำบัดน้ำเสีย คือ ทำหน้าที่เป็นที่เกาะของจุลินทรีย์บางชนิดที่อยู่ในดิน ซึ่งทำหน้าที่ย่อยสลายสารต่างๆ ในดิน เช่น การกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการ Nitrification และ Denitrification โดยเริ่มจากแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรตโดย Nitrifying Bacteria ในสภาพที่มีออกซิเจน และไนเตรตจะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สไนโตรเจนโดย Denitrifying Bacteria ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ระบบรากยังทำหน้าที่เคลื่อนย้ายแก๊สออกซิเจนและแก๊สอื่นๆ จากยอดไปยังราก และจากรากไปยังยอด จึงเป็นการเพิ่มแก๊สออกซิเจนให้กับดิน ดังแสดงในภาพที่ 3 นอกจากนี้ก้านหรือลำต้นที่อยู่ในน้ำยังเป็นตัวกลางในการกรอง และดูดซับตะกอน และของแข็งที่ลอยอยู่ในน้ำ ทำให้ความเข้มของแสงแดดที่ส่องตรงสู่ผิวน้ำลดลง จึงช่วยป้องกันการเจริญเติบโตที่มากเกินไปของสาหร่ายที่อยู่ในน้ำ ส่วน ก้าน ลำต้นและใบที่อยู่เหนือน้ำจะช่วยลดผลของลมที่มีต่อน้ำ เช่น การพัดและทำให้ตะกอนที่จมอยู่ลอยขึ้นมา (Stowell, 1981)



ภาพที่ 3 การเคลื่อนย้ายของแก๊สออกซิเจนของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ

ที่มา: Hammer and Bastian (1989)

จากที่กล่าวมาข้างต้นพืชจะมีกลไกหลายประการที่ทำให้สามารถลดปริมาณสารปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสียได้ แต่ถึงอย่างไรก็ตามการนำพืชมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียนั้นก็มีข้อจำกัดคือจะต้องมีการคัดเลือกชนิดพืชที่เหมาะสม ซึ่ง พัฒน์ (2536) ได้กล่าวถึงคุณสมบัติของพืชที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยสรุปดังนี้

4.5.1 สามารถปรับตัวและเจริญได้ดีในท้องถิ่นนั้นๆนอกจากนี้ยังต้องสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

4.5.2 มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง

4.5.3 มีความสามารถในการส่งผ่านออกซิเจนได้สูง โดยนำออกซิเจนจากบรรยากาศส่งผ่านลงตามใบ ลำต้นและราก

4.5.4 สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษได้ค่อนข้างกว้าง

4.5.5 มีความสามารถในการดูดซึมและเก็บสะสมสารต่างๆได้

4.5.6 มีความทนต่อโรคและแมลงต่างๆได้ดี

4.5.7 สามารถนำออกจากระบบได้ง่าย เนื่องจากพืชจะลดปริมาณสารที่มีอยู่ในน้ำเสียให้ได้ผลดีที่สุดนั้น พืชต้องมีการนำออกจากระบบบ้าง เพื่อมิให้พืชอยู่หนาแน่นจนเกินไปจนระบบขาดประสิทธิภาพ

การนำพืชมาใช้บำบัดน้ำเสียในปัจจุบันได้มีผู้ทดลองใช้หลายชนิด โดยส่วนใหญ่จะเป็นพืชน้ำ เช่น พืชประเภทกก ต้นอ้อ ฐูปฤณี แห้วทรงกระเทียม เป็นต้น เนื่องจากสามารถเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำ และมีคุณสมบัติอื่นๆที่เหมาะสมสามารถนำมาใช้บำบัดน้ำเสียได้ ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการศึกษาเพื่อนำพืชมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพดี สามารถลดปริมาณสารปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสียได้ เช่น ในกรุงปักกิ่ง ประเทศจีน ได้ใช้ต้นอ้อหรือต้นกก ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน และอุตสาหกรรมพบว่าสามารถลดปริมาณบีโอดีได้ประมาณร้อยละ 85.8 และลดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดได้ประมาณร้อยละ 64.6 กำจัดแบคทีเรียได้ประมาณร้อยละ 94.2 และกำจัดฟิโคลโคลิฟอร์มได้ประมาณร้อยละ 99.9 (สุจินต์, 2539) Urbance-Bercic and Bluc (1995) ได้ทดลองโดยใช้ต้นอ้อบำบัดน้ำเสียชุมชนขนาดเล็ก พบว่าสามารถลดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 85.6 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 17.1 และซีโอดีร้อยละ 94.4 Buddhawong (1996) ทดลองใช้พืช 2 ชนิด คือ กกกลม และแห้วทรงกระเทียม ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่จังหวัดสกลนคร พบว่าสามารถลดฟอสฟอรัสไนโตรเจนทั้งหมด ของแฉ่งแขวนลอย และบีโอดี ได้มากกว่าร้อยละ 60

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาเพื่อนำพืชประเภทหญ้ามาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสม ซึ่งจากการศึกษาของ สุชาดาและคณะ (2537) พบว่าหญ้าที่

เจริญเติบโตได้ดีในสภาพน้ำเสียได้แก่ หญ้าแฝกอิน โดนิเซีย หญ้าแฝกศรีลังกา หญ้าโคสครอส หญ้าคาล่า และ หญ้าสมุท

5. พืชที่ใช้ในระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

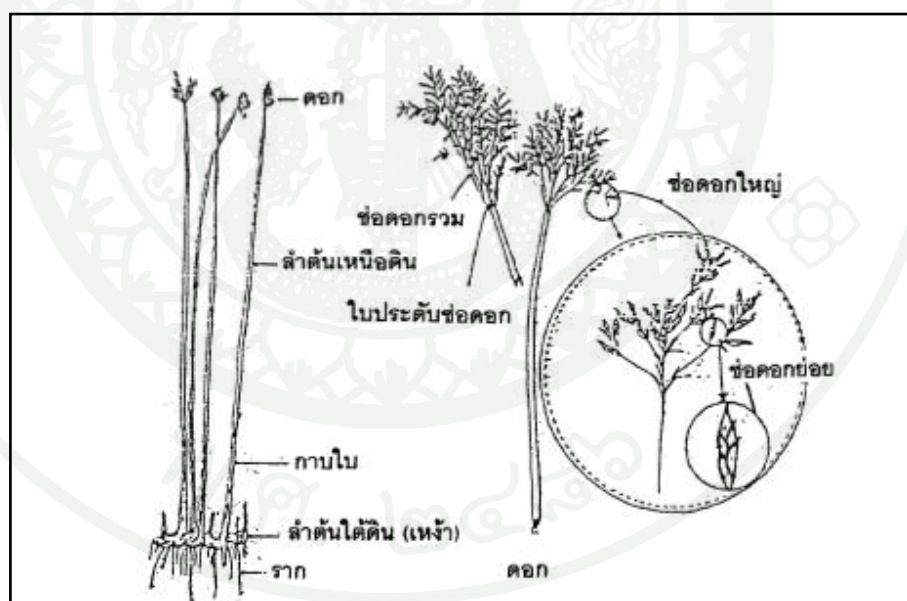
จันทวรรณ (2539) กล่าวว่า เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหารในน้ำระหว่างการใช้ดินร่วมกับพืช และการใช้ดินเพียงอย่างเดียว พบว่า การใช้ดินเพียงอย่างเดียวทำให้ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหลังการบำบัดมีค่าสูงมาก เสี่ยงต่อการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) นอกจากนี้ ยังพบว่าการใช้ดินร่วมกับพืชจะช่วยเพิ่มอุดมสมบูรณ์แก่ดินได้มากกว่าใช้ดินเพียงอย่างเดียว ในการศึกษาเพื่อคัดเลือกชนิดพืชที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยมีข้อกำหนดที่พืชชนิดนั้นต้องสามารถทนเค็มได้ จึงสามารถคัดเลือกชนิดพืชได้จำนวน 6 ชนิด คือ พืชรากยาว ได้แก่ กกกลม ฐูปฤายี่ หญ้าแฝกอิน โดนิเซีย และพืชรากสั้น ได้แก่ หญ้าสตาร์ หญ้าคาล่า และหญ้าดีกชี และแปลงควบคุมโดยไม่มีการปลูกพืชจำนวน 1 แปลง ซึ่งในการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเตรต-ไนโตรเจน และทีเคเอ็น ได้คัดเลือกพืชรากยาวที่ใช้ในการศึกษา 3 ชนิด ได้แก่ กกกลม (*Cyperus corymbosus* Rottb.), ฐูปฤายี่ (*Typha angustifolia* Lin.) และหญ้าแฝกอิน โดนิเซีย (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash.) ซึ่งมีลักษณะดังนี้

5.1 กกกลม (กกจันทวรรณ)

กกกลมหรือกกจันทวรรณ มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Cyperus corymbosus* Rottb. มีชื่อสามัญคือ Sedge จัดอยู่ใน Family Cyperaceae เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว มีอายุอยู่ได้หลายปี ส่วนใหญ่พบขึ้นทั่วไปตามที่ลุ่มชื้นแฉะ หนอง บึง ฯลฯ ตลอดจนดินเลนตามชายทะเล กกกลมมีลักษณะลำต้นกลม มีเฉพาะลำต้นส่วนปลายใกล้ๆกับดอกเท่านั้นที่เป็นสามเหลี่ยม ลำต้นมีสีเขียวเข้มเป็นมัน ความสูง 1-2 เมตร ดอกมีขนาดเล็กเป็นฝอยอยู่รวมกันเป็นช่อดอก เมื่อยังอ่อนมีสีเขียวอ่อน พออายุมากขึ้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน ใบประดับของช่อดอกเป็นแผ่นใบยาวเรียวสั้นกว่าความยาวของช่อดอก ดังแสดงในภาพที่ 4 (สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2535)

ทิพวรรณ และคณะ (2526) รายงานว่า ลำต้นกกมี 3 ส่วน ส่วนแรก คือ ลำต้นใต้ดิน ที่มีลักษณะเป็นแง่งสั้นๆ หรือเหง้าแข็งคล้ายเหง้าจิง สีน้ำตาลดำ เรียกว่า Rhizome ส่วนที่สอง คือ ลำต้นที่ทอดยาวอยู่บนพื้นดินมีลักษณะเป็นท่อนขนาดเล็ก มีสีน้ำตาล ซึ่งมีความยาวต่างๆกัน ตามชนิด

ของกกเรียกว่า Stolon บางครั้งลำต้นส่วนนี้จะบวมโตขึ้นเป็นที่สะสมอาหารได้แต่ไม่สามารถใช้ขยายพันธุ์ได้ และส่วนที่สาม คือ ลำต้นชนิดที่เป็นก้านยาวแข็ง สีเขียว ชูขึ้นไปในอากาศ เรียกว่า Aerial Stem บริเวณปลายสุด เป็นจุดที่ให้กำเนิดดอกด้านหน้าตัดขวางของลำต้น ส่วนนี้จะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมกลมหรือเกือบกลม แล้วแต่ชนิดของกก สำหรับใบกกที่นำมาทอเสื่อ ส่วนมากมีใบที่ลดขนาดเล็กลงไปเป็นแผ่นเล็กๆ มีรูปร่างต่างๆกัน และมีจำนวนใบเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่อยู่ติดกับปลายกาบหุ้มใบ (Leaf Sheath) เป็นวัชพืชที่มีทั้งดอกสมบูรณ์เพศและไม่สมบูรณ์เพศ เกสรตัวผู้มีตั้งแต่ 1-6 อัน โดยมากจะมี 3 อัน เกสรตัวเมียมี 1 อัน ยอดเกสรตัวเมียแยกออกเป็น 2-3 แฉก กลีบเลี้ยงและกลีบดอกมักเปลี่ยนรูปไปเป็นขนหรือเป็นเส้นเล็กๆ หรืออาจไม่ปรากฏให้เห็นเลยก็ได้ ในแต่ละดอกจะมีแผ่นใบประดับรองรับอยู่เรียกว่า Glume ขนาดเล็กอยู่รวมกันเป็นช่อดอกย่อย (Spikelet) แต่ละช่อดอกย่อย จะติดอยู่กับแกนกลางของช่อดอก (Rachis) รวมกันเป็นช่อดอกใหญ่ (Inflorescence) ซึ่งด้านใต้ของช่อดอกนี้ จะมีใบประดับที่มีลักษณะเป็นแผ่นใบยาวรองรับอีกทีหนึ่ง ใบประดับเหล่านี้มีความยาวแตกต่างกันไปตามชนิดของกก อาจยาวหรือสั้นกว่าความยาวของช่อดอกก็ได้



ภาพที่ 4 กกกลม (กกจันทบูรณ์)

ที่มา: สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2535)

ในปัจจุบันกกกลมเป็นพืชที่ได้มีการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชที่ชุ่มน้ำ เช่น ใช้ในโครงการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ ตามแนวพระราชดำริ หนองหาร จังหวัดสกลนคร ร่วมกับชนิดอื่นๆ ลักขณิ (2539) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของกกกลม เพื่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ ในกรุงปักกิ่ง ประเทศจีน ได้ใช้ต้นอ้อ หรือต้นกก ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน และอุตสาหกรรม (สุจินต์, 2539) และ Buddhawong (1996) ทดลองใช้กกกลม ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่จังหวัดสกลนคร จากการใช้กกในการบำบัดน้ำเสียดังกล่าว พบว่า สามารถลดปริมาณสารปนเปื้อนต่างๆ ที่อยู่ในน้ำเสียได้เป็นอย่างดี

สุชาดา และคณะ (2537) กล่าวว่า การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบดินร่วมกับพืชน้ำใช้กกกลม กกสามเหลี่ยมแห้วกระดาน และธูปฤาษี เป็นพืชทดลอง เพราะมีการเจริญเติบโตดีมากและมีโอกาสใช้เป็นประโยชน์จากพืชทั้งสามชนิดนี้ โดยมีโอกาสเข้ามาเกี่ยวข้องกับห่วงโซ่อาหารของมนุษย์ หลังจากนั้น สิทธิชัย (2538) ได้ทำการศึกษาพบว่า กกกลมมีความเหมาะสมต่อระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ดินร่วมกับพืชในสภาพน้ำขังสลบแห้งมากที่สุด

5.2 ธูปฤาษี

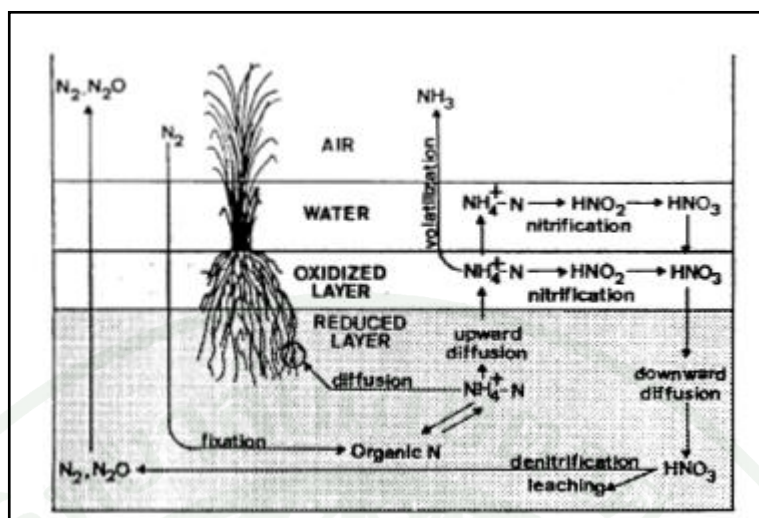
ธูปฤาษี มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Typha angustifolia* Lin. มีชื่อสามัญว่า Narrow – Leaved Cattail จัดอยู่ใน Family Typhaceae เป็นวัชพืชที่แข็งแรงและทนทาน และมีอายุข้ามปีประมาณ 1-3 เมตร (Abrams, 1964) ลำต้นใต้ดินแบบ Rhizome แตกกิ่งก้านสาขา ลำต้นเหนือดินแข็งประกอบด้วยใบแตกออกเป็นแผลสองแนว ด้านข้างใบเดี่ยวยมีแต่แผ่นใบเรียวยาว โดยใบแผ่เป็นกาบอวบหนาหุ้มประกอบกันไว้ ใบแก้อยู่ด้านบนนอกหุ้มใบอ่อนไว้ข้างใน กาบใบด้านในมีเมือกเหนียวๆ ขอบใบหนา โคนใบอวบหนากว่าปลายใบ แผ่นใบมีสีเขียวเข้ม (สุชาดา, 2530) ดอกออกเป็นช่อแบบ Spike แน่นรูปทรงกระบอก ช่อดอกมองดูเหมือนรูปใหญ่ๆ ดอกย่อยแยกเพศ ดอกตัวผู้อยู่ตอนบนของช่อดอก ส่วนดอกตัวเมียอยู่ด้านล่าง (Backer และ Bankuizen Van Den Brink, 1968) ลักษณะโดยทั่วไปของธูปฤาษี แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 รูปฤาษี (1.ลักษณะต้น 2.ช่อดอก 3.ดอกตัวเมียที่เป็นหมัน 4.ดอกตัวเมียปกติ)

ที่มา: สุชาดา (2530)

สุชาดา และคณะ (2537) กล่าวว่า รูปฤาษีเป็นวัชพืชน้ำอีกชนิดหนึ่งที่มีปัญหาไม่น้อยไปกว่าผักตบชวา ในปัจจุบัน โดยเฉพาะคลองชลประทานและแหล่งน้ำกักน้ำทั่วไปสามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วมาก แม้ว่างานวิจัยที่นำรูปฤาษีมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียยังมีน้อย เมื่อเทียบกับผักตบชวา แต่ก็พบว่า เป็นวัชพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการกำจัดน้ำเสีย ในประเทศญี่ปุ่นได้มีงานวิจัยที่ใช้รูปฤาษีในการบำบัดน้ำเสียแทนผักตบชวา ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงฤดูหนาวผักตบชวาจะตาย ส่วนรูปฤาษี รากเหง้ายังสามารถพักตัวอยู่ได้ และเจริญงอกงามขึ้นมาใหม่ได้ในช่วงฤดูใบไม้ผลิต่อมา จึงไม่ต้องปลูกทดแทนใหม่ทุกๆ ปี และเป็นวัชพืชที่สามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วโดยเหง้าใต้ดินด้วย



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในสภาพน้ำท่วมขัง

ที่มา: Donal Hook (1978)

Boyd (1970) กล่าวว่า รุปรุขเป็นวัชพืชที่มีศักยภาพในการกำจัดและบำบัดน้ำเสียเพราะรากของต้นรุปรุขมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่อยู่ในน้ำเสียได้ค่อนข้างสูง ดังนั้น รุปรุขจึงทำหน้าที่เหมือนตัวกรองน้ำเสีย

5.3 หญ้าแฝกอินโดนีเซีย

หญ้าแฝกพันธุ์อินโดนีเซีย มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Vetiveria zizanioides (L.) Nash.* จัดอยู่ใน Family Poaceae ความสูงเฉลี่ย 115 เซนติเมตร แตกกอเฉลี่ย 18 ต้น/กอ เส้นผ่าศูนย์กลางของกอเฉลี่ย 6 เซนติเมตร รากยาวเฉลี่ย 42 เซนติเมตร ใบสีเขียวปนเหลืองยาวเฉลี่ย 82 เซนติเมตร กว้างเฉลี่ย 0.8 เซนติเมตร อายุการออกดอกเฉลี่ย 118 วัน ช่อดอกยาวเฉลี่ย 29 เซนติเมตร ดอกสีเหลืองแกมม่วง ก้านช่อดอกยาวเฉลี่ย 180 เซนติเมตร ดังภาพที่ 7

หญ้าแฝกมีลำต้น (Culm) ขึ้นเป็นกอ ลักษณะเป็นพุ่ม มีความสูงประมาณ 100-200 เซนติเมตร (จเร, 2535) กอแฝกจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ โดยกอจะเบียดกันแน่น ซึ่งเป็นลักษณะอันหนึ่งที่แตกต่างจากหญ้าชนิดอื่นค่อนข้างชัดเจน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ใบ (Leaf) ใบหญ้าแฝกแตกต่างจากโคนกอ ใบเรียวยาวประมาณ 75 เซนติเมตร กว้างประมาณ 8 มิลลิเมตร ขอบใบและเส้นกลางใบมีหนามละเอียด พบในแฝกหอม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2536) ราก (Root) หญ้าแฝกเป็นพืชที่มี

ระบบรากลึก การเจริญเติบโตของรากเกิดในแนวตั้ง (Vertical) มากกว่าด้านข้าง รากจะประสานกันแน่น หยั่งลึกเป็นแนวตั้งลงในดิน ไม่แผ่ขนานมีรากแกน รากแขนง และรากฝอยมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) หญ้าแฝกที่มีอายุประมาณ 28 เดือน รากจะเจริญเติบโตเต็มที่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541) รากจะมีความยาวมากกว่า 3 เมตร (จร, 2535) รากหญ้าแฝกจะมีกลิ่นหอมเย็น เพราะมีน้ำมันหอมระเหยอยู่เฉลี่ยประมาณร้อยละ 1.4-1.6 ของน้ำหนักแห้ง ช่อดอก (Inflorescence) หญ้าแฝกมีช่อดอกตั้ง มีลักษณะเป็นรวง ก้านช่อดอกและรวงสูงประมาณ 100-150 เซนติเมตร ช่อดอกของหญ้าแฝกส่วนใหญ่มีสีม่วง เมล็ดและต้นอ่อน (Seed and Seedling) เมล็ดมีสีน้ำตาลอ่อน ขนาดกว้าง 1-1.5 มิลลิเมตร ต้นอ่อนของหญ้าแฝกมีการเจริญเช่นเดียวกับหญ้าทั่วไป โดยเริ่มจากมีรากเรดิเคิล (Radicle) แทงออกจากเมล็ด จากนั้น ใบเลี้ยง จะค่อยๆ แทงออกมา เริ่มมีใบแท้สีเขียว และมีหนามบนขอบใบปรากฏให้เห็นชัดเจนในช่วงสัปดาห์แรก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)



ภาพที่ 7 ลักษณะแปลงหญ้าแฝกอินโดนีเซีย

หญ้าแฝกสามารถขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อจากลำต้นใต้ดิน World Bank (1987) รายงานว่า ในการขยายพันธุ์แบบอาศัยเพศของหญ้าแฝกโดยส่วนใหญ่ช่อดอกจะเป็นหมัน และไม่ผลิตเมล็ดที่งอกได้ในสภาพทั่วไป เมล็ดหญ้าแฝกมีความไวในการตอบสนองต่อบีจายเวดส์ลุ่มต่างๆ ได้ดี จึงเสียความสามารถในการงอกได้ง่าย ดังนั้น ในการขยายพันธุ์หรือเพิ่มจำนวนหญ้าแฝกเพื่อนำไปปลูกยังพื้นที่อื่น นิยมใช้วิธีแยกหน่อจากกอเดิมไปปลูกใหม่ หน่อที่นำไปปลูกจะแตกหน่อจากทางด้านข้างขึ้นมาใหม่จนกระทั่งเจริญเป็นกอแฝกต่อไป (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

หญ้าแฝกสามารถขึ้นได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ หรือดินกรด ดินเค็ม (Klomjek และ Nitorisavut, 2005 และไพรัช, 2548) สภาพกรวด ทราย ดินลูกรัง และดินที่มีแร่ธาตุบางชนิด เช่น อะลูมิเนียม ปะปนอยู่ขึ้นได้ในสภาพดินฟ้าอากาศที่แตกต่างกันมาก ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝน 200 - 6,000 มิลลิเมตรต่อปี อุณหภูมิตั้งแต่ -9 ถึง 45 องศาเซลเซียส มีอายุหลายปี หญ้าแฝกมีระบบรากฝอยที่แข็งแรง และแตกรากมาก สามารถชอนไชไปในดินและยึดเม็ดดินได้ดี ส่วนโคนหรือฐานของต้นอยู่ใต้ดิน มีตาเป็นที่เกิดของต้นใหม่ หากส่วนบนถูกทำลายก็สามารถแตกเป็นต้นใหม่ได้ ทนทานต่อความแห้งแล้ง น้ำท่วม โรค และแมลง หรือแม้แต่ถูกไฟเผา (วิระชัย, 2537) การนำหญ้าแฝกมาใช้ประโยชน์ทางด้านรักษาคุณภาพน้ำ และแหล่งน้ำ โดยนำหน่อหญ้าแฝกมาปลูกรอบๆ บริเวณด้านข้างของแหล่งน้ำ หญ้าแฝกจะมีการเจริญเติบโต แรกหน่ออย่างรวดเร็ว เป็นกอชิดกัน แน่นเป็นแนวรั้วแฝกที่หนาแน่นและถาวร ซึ่งจะช่วยกรองเศษพืช ตะกอนดินรวมทั้งสิ่งปฏิกูลต่างๆ ไม่ให้ไหลสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้รากหญ้าแฝกซึ่งมีจำนวนมากสานกันอย่างแน่นเป็นกำแพงใต้ดิน จะช่วยในการดูดซับสารเคมีที่ไหลสู่แหล่งน้ำได้อีกด้วย ช่วยให้แหล่งน้ำมีคุณภาพดีขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

ในประเทศออสเตรเลีย Truong (1992) ทำการศึกษาพบว่า หญ้าแฝกมีคุณสมบัติทนความเค็มได้ดี เจริญเติบโตได้ในสภาพดินด่าง ที่มีความเป็นกรด-เบส pH ถึง 9.5 หรือในสภาพดินเปรี้ยวจัด ที่มีความเป็นกรด-เบสต่ำถึง 3.3 เพราะหญ้าแฝกมีระบบรากลึก รากจึงเจริญเติบโตบนระดับดิน นอกจากนี้ยังพบว่าหญ้าแฝกสามารถทนความเป็นพิษของอะลูมิเนียมและแมงกานีสได้สูงถึง 578 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในประเทศไทย พรชัย (2538) ศึกษาความทนเค็มของหญ้าแฝกในพื้นที่ดินเค็มชายทะเล จังหวัดจันทบุรี พบว่าหญ้าแฝกพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ และสงขลา 2 มีความทนเค็มได้ดี เช่นเดียวกับ มนพ (2538) ได้ศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกที่รดด้วยน้ำทิ้งจากชุมชนเมืองเพชรบุรี ซึ่งปลูกในสภาพพื้นที่ดินเค็ม โครงการแหลมผักเบี้ยฯ จังหวัดเพชรบุรี พบว่าหญ้าแฝกแหล่งพันธุ์บราซิลสามารถทนเค็มได้ดีเช่นกัน

6. ไนโตรเจน (Nitrogen)

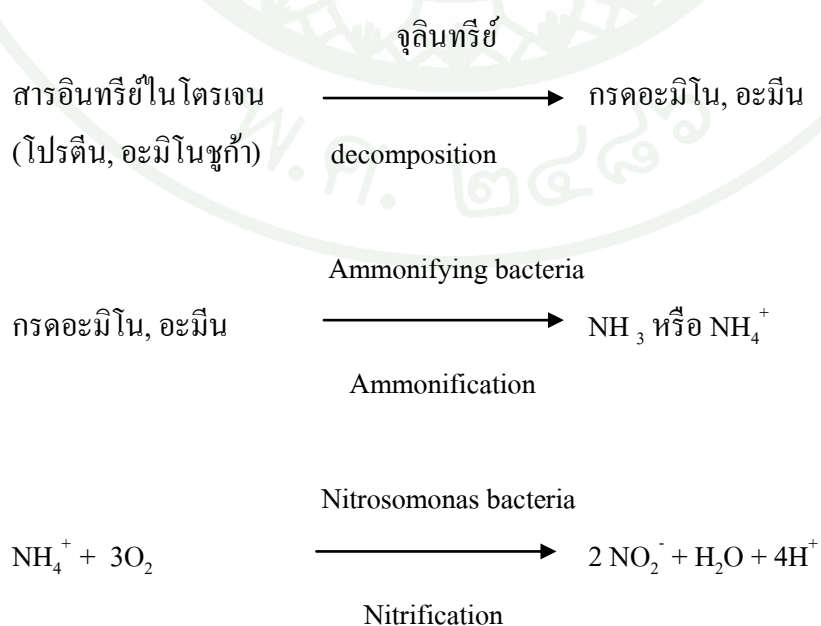
ไนโตรเจนและสารประกอบไนโตรเจน ได้มาจาก

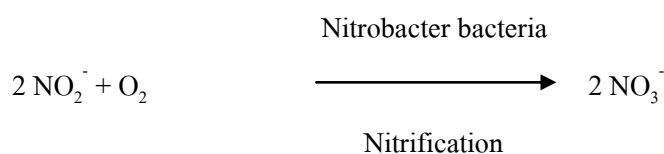
6.1 บรรยากาศ ได้แก่ ไฟผ่า การสลายตัวของวัตถุสารบนพื้นโลก การระเบิดของภูเขาไฟ

6.2 ไนโตรเจนในดินจะถูกตรึงด้วยจุลินทรีย์นำไปใช้โดยขบวนการเมตาโบลิซึมของพืช

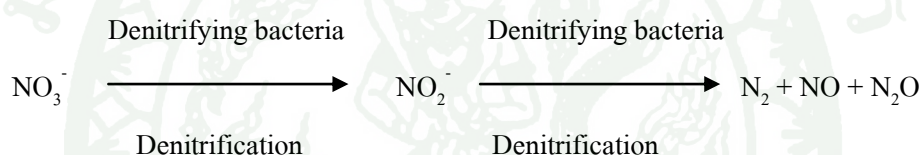
6.3 น้ำใต้ดินและน้ำพุ ได้จากการตกตะกอนของน้ำผิวดินที่ไหลเข้ามา นอกจากนี้ยังได้จากแหล่งน้ำเอง เกิดจากขบวนการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ และสาหร่ายบางชนิด การสูญเสียสารประกอบไนโตรเจนจะถูกใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสงของพืช และการเน่าสลายของอินทรีย์วัตถุ และบางส่วนสูญเสียไปกับน้ำที่ไหลออก โดยรวมกับธาตุอื่นๆเป็นตะกอน (ณัฐกานต์, 2537)

ประมาณ (2531) รายงานว่า สารประกอบไนโตรเจน มีทั้งสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ สารประกอบอินทรีย์ได้แก่ โปรตีน ยูเรีย และกรดอะมิโน ซึ่งจะมีอยู่ในชั้นของผิวน้ำร้อยละ 50 และสามารถใช้เป็นดัชนีแสดงถึงคุณภาพของแหล่งน้ำ ส่วนสารประกอบอนินทรีย์-ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย (NH_3), ไนไตรต์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) ไอออน ซึ่งพืชสีเขียวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ Jenny (1929) ; Millar *et al.* (1964) รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนขึ้นอยู่กับธรรมชาติ และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน พืช ความชื้น และอุณหภูมิ ซึ่งคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2535) รายงานว่า ไนโตรเจนในดินโดยเฉลี่ยมีประมาณร้อยละ 5 และแสดงการเปลี่ยนรูปจากอินทรีย์วัตถุเป็นสารประกอบไนโตรเจน ซึ่งสอดคล้องกับสตรัทท์ (2518) สมสุข (2524) ยงยุทธ และสุรเดช (2521) และ Feth (1966) สรุปได้ว่า ไนโตรเจนในอากาศมีประมาณร้อยละ 78 แต่สิ่งมีชีวิตไม่กี่ชนิด สามารถใช้ในโตรเจนในรูปแก๊ส และยังมีอยู่ในองค์ประกอบของโปรตีนพลาสมาของสิ่งมีชีวิต เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก เมื่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ตายลง รวมทั้งสิ่งขับถ่ายจากสิ่งมีชีวิต ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์จะถูกแปรสภาพโดยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ตามลำดับดังนี้





วัฏจักรของไนโตรเจน ดังภาพที่ 8 เริ่มจากการตรึงไนโตรเจนในอากาศ โดยแบคทีเรียที่ตรึงธาตุไนโตรเจน และสาหร่ายบางชนิด นำมาสร้างกรดอะมิโน และ โปรตีน เมื่อพืชและจุลินทรีย์ตายลง โปรตีนของมันจะถูกจุลินทรีย์และรา เข้าย่อยสลายกลายเป็นกรดอะมิโน จากนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไอออนในดินแล้วถูกพืชนำไปใช้โดยตรง หรือหลังจากเปลี่ยนเป็นไนไตรต์หรือไนเตรตแล้วเพื่อนำไปสร้างโปรตีน บางส่วนของพืชที่ถูกสัตว์กินเป็นอาหารเมื่อพืชหรือสัตว์เหล่านั้นตายลง ไนโตรเจนจะกลับเข้าสู่วัฏจักรอีกครั้งหนึ่ง โดยสารประกอบไนโตรเจนจะสามารถกลับเข้าสู่บรรยากาศได้โดยขบวนการ Denitrification ดังนี้

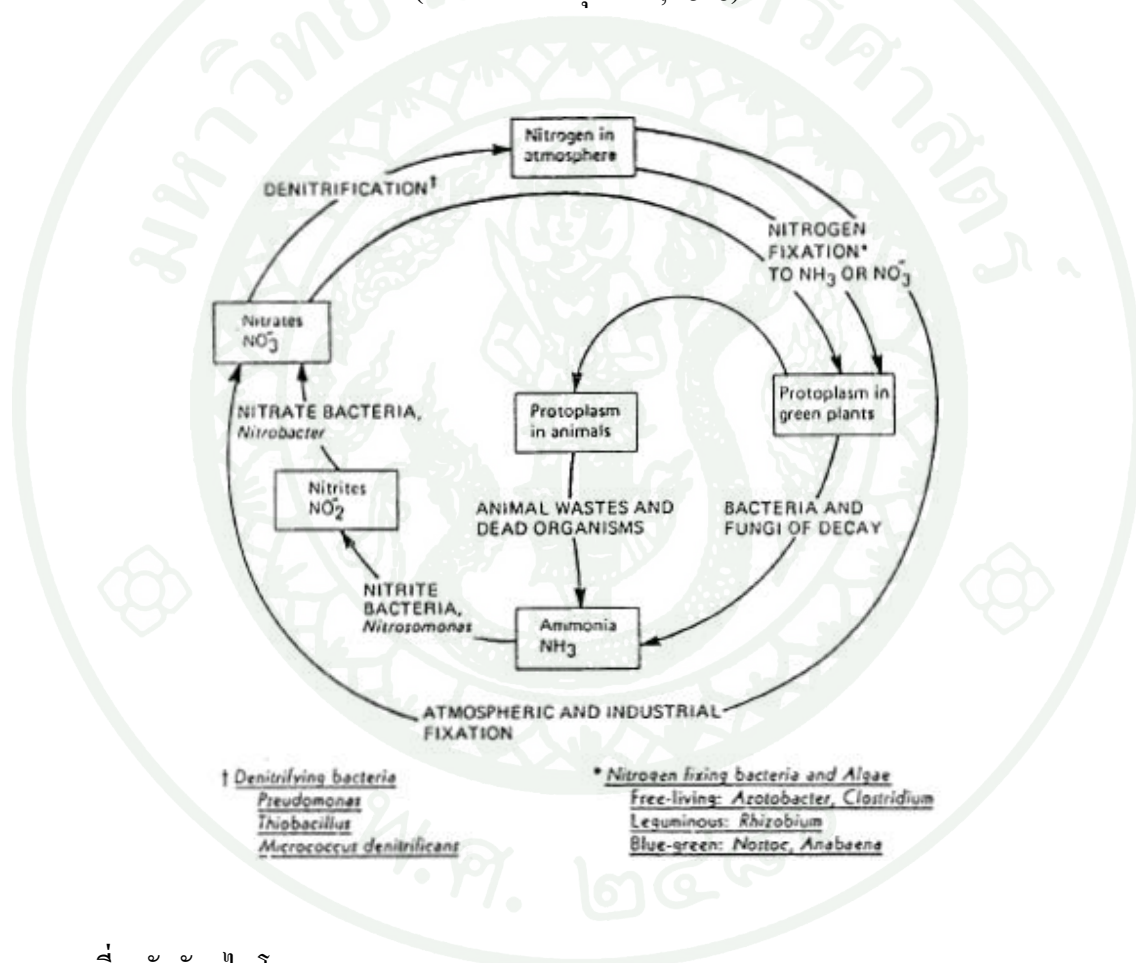


การสลายตัววิธีนี้ของสารประกอบไนโตรเจน จะสมดุลกับส่วนที่ได้มาจากการตรึงไนโตรเจนโดยวิธี Nitrogen Fixation ในดิน (Southwick, 1972)

สำหรับสารประกอบไนโตรเจนในแหล่งน้ำ มีหลายรูปแบบที่สำคัญได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต โดยแบคทีเรียหรือสาหร่ายบางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ พืชสีเขียวจะใช้ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียและไนเตรตในการสังเคราะห์โปรตีน สำหรับสัตว์ไม่สามารถใช้ไนโตรเจนจากอากาศและสารอินทรีย์ไนโตรเจนมาทำการสังเคราะห์โปรตีนได้ ต้องอาศัยโปรตีนจากพืชหรือสัตว์อื่น ในรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจนแทน และเมื่อสิ่งมีชีวิตตายลงร่างกายจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ให้เป็นแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตไอออน ตามลำดับ (ไมตรี และจรรุวรรณ, 2528)

นันทนา (2520) ได้สรุปความสัมพันธ์ และปริมาณของสารประกอบไนโตรเจน ทั้ง 4 ประเภทในน้ำ คือ อินทรีย์-ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตไอออน ซึ่งบ่งชี้ถึงความสกปรกของแหล่งน้ำธรรมชาติได้ เช่น แหล่งน้ำที่มีปริมาณสกปรกไม่มาก และความสกปรกนั้นเกิดจากการระบายของเสียจากชุมชน แต่ถ้ามีปริมาณไนไตรต์สูง แสดงว่า แหล่งน้ำนั้นอยู่ในสภาพที่

กำลังจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสารอินทรีย์-ไนโตรเจนไปเป็นไนเตรต หรือในทางกลับกัน ถ้ามีปริมาณไนเตรตสูง แสดงว่า แหล่งน้ำนั้นได้รับสิ่งสกปรกมานาน จนสารประกอบอินทรีย์-ไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นไนเตรตแล้ว นอกจากนี้ เข็มศักดิ์ (2533) พบว่า ในน้ำปกติ จะมีปริมาณของแอมโมเนียและสารประกอบแอมโมเนียละลายอยู่เพียงเล็กน้อย หรือน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสีย ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะเพิ่มมากขึ้นกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ้ามีความเสียหายมาก ความเข้มข้นของแอมโมเนีย มีมากถึง 10 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือมากกว่า และเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ถ้าตรวจพบความเข้มข้นของไนเตรตมากกว่า แสดงว่า การเน่าเสียของน้ำได้เกิดขึ้นมานานแล้ว และไม่มีอันตรายต่อสัตว์น้ำอีกต่อไป (ไมตรี และ จารุวรรณ, 2528)



ภาพที่ 8 วัฏจักรไนโตรเจน

ที่มา: Southwick (1972)

สมชาย (2531) รายงานว่า ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช ทั้งในสภาพธรรมชาติและการเพาะปลูก ไนโตรเจนเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายง่าย ถ้าพืชขาดไนโตรเจนจะมีใบเหลือง แต่ถ้าได้รับมากเกินไป พืชจะเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบมาก

เรียกว่า อาการเหื่อ ซึ่งวงจันทร์ (2535) รายงานไว้เช่นเดียวกันว่า ถ้าพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไป จะเกิดการสะสมอาหาร การเจริญของผลและเมล็ดจะช้าหรือพืชไม่ออกดอกและผล Jones และคณะ (1991) กล่าวว่า ปริมาณไนโตรเจนในพืชจะอยู่ในพิสัยร้อยละ 1.50 ถึง 6.00 ของน้ำหนักแห้งของพืช ค่าวิเคราะห์ความพอเพียงที่พืชได้รับไนโตรเจนอยู่ในพิสัยร้อยละ 2.50 ถึง 3.50 ส่วนค่าวิกฤตของปริมาณไนโตรเจนขึ้นอยู่กับชนิดพืช ช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตและส่วนของพืชที่ทำการวิเคราะห์

7. แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH₃-N)

7.1 แอมโมเนีย

แอมโมเนีย เป็นแก๊สไม่มีสี มีกลิ่นฉุน สามารถละลายน้ำได้ดี แอมโมเนียที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะเกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจน การขับถ่ายของสิ่งมีชีวิต ซากของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว ปุ๋ยและอาหารสัตว์น้ำที่เหลือตกค้าง กระบวนการสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนจนกลายเป็นแอมโมเนียอิสระ (NH₃) และแอมโมเนียไอออน (NH₄⁺) เรียกว่า Ammonification ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตแอมโมเนียที่สำคัญที่สุดของแหล่งน้ำส่วนใหญ่ โดยปกติเมื่อพูดถึงแอมโมเนียในน้ำจะหมายถึงแอมโมเนียทั้งหมด (Total Ammonia) หรือ ผลรวมของแอมโมเนียอิสระ (NH₃) และแอมโมเนียไอออน (NH₄⁺) ในน้ำแอมโมเนียทั้งสองรูปจะอยู่ปนกัน โดยมีสมดุลเคมี ดังนี้



แอมโมเนีย เป็นสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่มีบทบาทสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพราะเป็นทั้งสารพิษต่อสัตว์น้ำและปุ๋ยสำหรับการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช (Hargreaves, 1998) แอมโมเนียเป็นสารพิษที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำในความเข้มข้นที่ต่ำ ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของแอมโมเนียโดยเฉลี่ยจากสัตว์ทะเล 17 ชนิด อยู่ที่ 1.86 mg NH₃/l (USEPA, 1984, 1987 อ้างโดย Randall และ Tsui, 2002) ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแอมโมเนียส่วนใหญ่ได้มาจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำและอาหารเหลือตกค้าง เมื่อเลี้ยงสัตว์น้ำไปนานๆ ความเข้มข้นของแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงจึงสูงขึ้นจนอาจถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ ในการเลี้ยงสัตว์โดยทั่วไปจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่ให้สูงเกินไป แต่การกระทำเช่นนี้อาจไปสร้างผลกระทบต่อแหล่งน้ำธรรมชาติที่รองรับน้ำทิ้ง โดยเฉพาะตามพื้นที่ที่มีฟาร์ม

เลี้ยงสัตว์น้ำอยู่หนาแน่น เพราะน้ำทิ้งเหล่านี้มีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่าแหล่งน้ำธรรมชาติ ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงได้กำหนดค่าของแอมโมเนียไว้ทั้งในมาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและมาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง แอมโมเนียจึงเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำ

7.2 ผลกระทบของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำ

แอมโมเนียอิสระเป็นรูปที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ โดยความเป็นพิษขึ้นกับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระ โดยทั่วไปนิยมนิยามรายงานความเป็นพิษของแอมโมเนียในเทอมของความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระมากกว่าแอมโมเนียทั้งหมด สัตว์น้ำส่วนใหญ่เมื่อสัมผัสกับแอมโมเนียอิสระคำนวณในรูปแบบไนโตรเจน 1 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร นานประมาณ 1 ชั่วโมงอาจทำให้เกิดการตายอย่างเฉียบพลัน

ในแหล่งน้ำจะพบแอมโมเนียไอออนเป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของแอมโมเนียอิสระ และแอมโมเนียไอออนขึ้นกับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ และปริมาณเกลือแร่ โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่าง จะมีอิทธิพลสูงสุด ปริมาณแอมโมเนียจะเพิ่มขึ้นตามค่าความเป็นกรดเป็นด่างและอุณหภูมิที่สูงขึ้น เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเท่ากับร้อยละ 99.2 ของแอมโมเนียไอออนประมาณร้อยละ 55.4 ของแอมโมเนียทั้งหมด ปริมาณแอมโมเนียในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จะมีปริมาณสูงขึ้นตามระยะการเลี้ยง ซึ่งเกิดจากอาหารและการขับถ่ายของสัตว์น้ำ เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในแหล่งน้ำสูงขึ้น ความสามารถในการขับถ่ายแอมโมเนียของสัตว์น้ำจะลดลง ทำให้ระดับแอมโมเนียในกระแสเลือดและเนื้อเยื่อสูงขึ้น ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของเลือดจึงสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆ และความคงสภาพของเนื้อเยื่อ ทำอันตรายต่อเหงือกและลดความสามารถของเลือดในการลำเลียงออกซิเจน และเสียชีวิตในที่สุด อย่างไรก็ตามความเป็นพิษของแอมโมเนียยังขึ้นกับปัจจัยอีกหลายประการเช่น ชนิดของสัตว์น้ำ ขนาดหรืออายุของสัตว์น้ำ สภาพบ่อที่เลี้ยง ความหนาแน่นของการเลี้ยง คุณภาพอื่นๆของน้ำ โดยเฉพาะออกซิเจนละลายที่ความเข้มข้นเดียวกัน แอมโมเนียอิสระจะเป็นพิษมากขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของออกซิเจนละลายต่ำ

ตารางที่ 4 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระที่มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำ

ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย (ส่วนในล้านส่วน)	ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ
0.1-0.4	สัตว์เจริญเติบโตช้า
0.5-1	สัตว์มีอาการเครียด หายใจเร็ว
2-3	สัตว์มีอาการเครียด หายใจเร็ว อ่อนแอเกิดการ ติดเชื้อจากแบคทีเรีย และเริ่มตาย
4-5	อัตราการตายเพิ่มขึ้น
6-7	อัตราการตายเพิ่มขึ้น

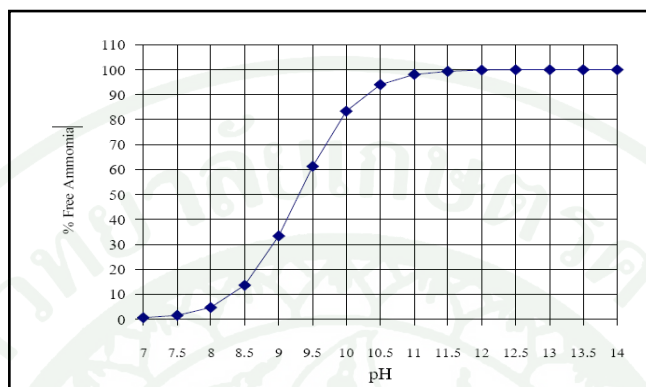
ที่มา: สุชาดา (2546)

จะเห็นได้ว่าแอมโมเนียแม้จะมีเพียงเล็กน้อย ระดับส่วนในล้านส่วนก็อาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ และส่งผลกระทบต่อปะการังเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างมาก โดยจะทำให้ผลผลิตตกต่ำ สูญเสียมูลค่าการส่งออก ซึ่งส่งผลกระทบต่อประเทศ วิศวกรรมปริมาณแอมโมเนียทำได้ดังนี้

- 7.2.1 ควบคุมปริมาณการให้อาหารไม่ให้เหลือหรือลดปริมาณอาหารที่ให้ลงครึ่งหนึ่ง
- 7.2.2 ควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่างในน้ำให้อยู่ระหว่าง 7.5-8.0
- 7.2.3 เปลี่ยนถ่ายน้ำ 10 % แล้วทำการเช็กระดับแอมโมเนียหลังการเติมน้ำใหม่ 12-24 ชั่วโมง
- 7.2.4 เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำให้เต็มที่
- 7.2.5 การดูดซับตะกอนภายในบ่อ

มันสินและมันรัก (2545) กล่าวว่าแอมโมเนียมีพิษต่อจุลินทรีย์ และสัตว์น้ำซึ่งรูปที่เป็นพิษคือ แอมโมเนียอิสระ หรือ NH_3 ในขณะที่ไอออนของแอมโมเนียมหรือ NH_4^+ ไม่มีพิษ ปลาอาจมีแอมโมเนียได้หลายสิบมิลลิกรัมต่อลิตร หรือมากกว่าโดยไม่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์และสัตว์น้ำ ทั้งนี้ เพราะน้ำมี pH เป็นกลาง เท่ากับ 7.2 หรือต่ำกว่า แอมโมเนียส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป NH_4^+ ดังนั้นพิษแทบจะไม่ปรากฏ แม้ว่าความเข้มข้นสูงถึง 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้า pH ของน้ำสูงขึ้นพิษแอมโมเนียจะปรากฏ ปริมาณ NH_3 จะเพิ่มตามระดับ pH ปริมาณเกลือแร่ และอุณหภูมิที่สูงขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่าง % NH_3 กับ pH แสดงในภาพที่ 9 ปริมาณเกลือแร่ในน้ำมีอิทธิพลน้อย

เช่นเดียวกับอนุภูมิ แต่มีอิทธิพลในทางตรงกันข้าม คือ แอมโมเนียจะมีน้อยลงถ้ามีปริมาณเกลือแร่สูงขึ้น แอมโมเนียเป็นสารที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากการหมักของตะกอนจุลินทรีย์แต่ก็สามารถเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง % NH₃ กับ pH

ที่มา: มั่นสิน และ มั่นรักษ์ (2545)

7.3 พิษต่อสุขภาพมนุษย์

7.3.1 พิษเฉียบพลัน

1) หายใจเข้าโดยตรงที่ระดับความเข้มข้น 5,000-10,000 ส่วนต่ออากาศ 1 ล้านส่วนหรืออัตราผสมกับอากาศร้อยละ 0.5-1 จะทำให้เกิดอาการหายใจขัด ทำให้เสียชีวิตทันที

2) กระเด็นเข้าตา เกิดการระคายเคืองแก้วตาอย่างรุนแรง ทำให้ตาบอดบางส่วนหรือตาบอดทั้งหมด

3) แอมโมเนียเหลวสัมผัสผิวหนังโดยเป็นระยะเวลาหนึ่ง ทำให้ผิวหนังไหม้และเซลล์เนื้อเยื่อตายเพราะเย็นจัด

4) รับประทานเข้าไป จะกัดทำลายเยื่อภายในปาก และระบบทางเดินอาหาร ทำให้ปวดท้องอย่างรุนแรง คลื่นไส้ อาเจียนและหมดสติในที่สุด

7.3.2 พิษเรื้อรัง

หากร่างกายได้รับแก๊สแอมโมเนียอยู่เสมออาจเนื่องมาจากการทำงานเป็นระยะนานๆ ในบรรยากาศที่มีแอมโมเนียผสมจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองเรื้อรังของตา จมูก และระบบทางเดินหายใจ (โสครดา, 2543)

7.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นพิษของแอมโมเนีย

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

Bower and Bidwell (1978) ได้เพิ่มปัจจัยความเค็มมาเป็นตัวแปรอีกอย่างหนึ่งทำให้ทราบว่าร้อยละของการแตกตัวให้อิออนไนซ์แอมโมเนียในน้ำทะเล จะมีปริมาณลดลงเมื่อความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่มีผลต่อความเป็นพิษของแอมโมเนีย Markens and Downing (1975) สรุปว่า เมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงความเป็นพิษของแอมโมเนียสูงขึ้น ขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นกลับส่งผลให้ความเป็นพิษของแอมโมเนียลดลงเช่นเดียวกับความเค็มและค่า Lonic Strength ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อละลายน้ำจะได้กรดคาร์บอนิก ซึ่งทำให้ pH ของน้ำลดลงและมีผลต่อเนื่องถึงปริมาณแอมโมเนียอิสระ (Lloyd and Herbert, 1960)

7.5 มาตรฐานของแอมโมเนีย

มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 กำหนดให้แหล่งน้ำประเภทที่ 2 ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบาง

ประเภท และเป็นประโยชน์เพื่อการอนุรักษ์สัตว์น้ำ การประมงและกีฬาทางน้ำให้มีปริมาณแอมโมเนียอิสระไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2538)

8. ไนเตรต-ไนโตรเจน (NO_3^- -N)

8.1 ไนเตรต-ไนโตรเจน

สารประกอบไนโตรเจนที่สำคัญในน้ำอย่างหนึ่งคือ ไนเตรต-ไนโตรเจน ซึ่งจุลินทรีย์นำไปใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการเจริญเติบโตของพืชสามารถนำไปใช้ในการสร้างโปรตีนเพื่อเป็นอาหารของคนและสัตว์ต่อไป ไนเตรตเกิดจากการที่สิ่งมีชีวิตปล่อยของเสียซึ่งมีสารประกอบไนโตรเจนออกมาและเมื่อสิ่งมีชีวิตตายลง โปรตีนภายในสิ่งมีชีวิตจะถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย ซึ่งพืชนำไปใช้ในการสร้างโปรตีนได้ ถ้ามีปริมาณมากเกินไปความต้องการแอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์โดยแบคทีเรียไปเป็นไนไตรต์และไนเตรตตามลำดับ ในน้ำผิวดินจะพบไนเตรตในปริมาณน้อย มักต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตรของ N และอย่างสูงไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตรของ N แต่สำหรับน้ำใต้ดินอาจมีไนเตรตสูงตั้งแต่ 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของ N ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ นอกจากไนเตรตเข้าสู่แหล่งน้ำจากการเน่าเปื่อยของสิ่งมีชีวิตแล้ว ยังมาจากปุ๋ยที่ใช้เพื่อการเกษตร (เกินขนาดและต่อเนื่อง) และน้ำเสียอีกด้วย

8.2 มาตรฐานของไนเตรต-ไนโตรเจน

ระดับความเข้มข้นที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตามปกติไนเตรตจะมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมากในแหล่งน้ำ น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติมีไนเตรตละลายอยู่โดยเฉลี่ยประมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ในแหล่งน้ำที่เป็นแหล่งน้ำกระต้างจะมีความเข้มข้นของไนเตรตน้อยกว่าร้อยละ 1 ของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ แต่ในน้ำอ่อนความเข้มข้นของไนเตรต จะมีค่าความเข้มข้นน้อยลงไปอีก ส่วนในน้ำเสียจะมีปริมาณของไนเตรตมากเป็นพิเศษและอาจทำให้เกิดกระบวนการเพิ่มของประชากรของพืชน้ำอย่างเร็วขึ้นได้ และเป็นสาเหตุที่ทำให้สัตว์ได้รับผลกระทบจากการลดปริมาณของออกซิเจน (สิทธิชัย, 2549) ซึ่งความเข้มข้นของไนเตรตในแหล่งน้ำผิวดิน กำหนดไว้ไม่ควรเกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2538)

8.3 ผลกระทบของไนเตรต

8.3.1 ก่อปัญหาไฮโทรฟิเคชัน (Eutrophication)

สารประกอบไนโตรเจนถูกจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญตัวหนึ่งของการเกิดปัญหาไฮโทรฟิเคชัน เช่นเดียวกับฟอสฟอรัส โดยเฉพาะไนเตรตเมื่อถูกระบายน้ำลงสู่แหล่งน้ำทำให้เกิดการเจริญเติบโตเกินขีดของสาหร่าย (Algae Bloom) เป็นปัญหาต่อการสัญจรทางน้ำ และการนำน้ำไปใช้ เวลากลางวันสาหร่ายสังเคราะห์แสงและเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ แต่ในเวลากลางคืนสาหร่ายหายใจและอาจใช้ออกซิเจนในน้ำจนหมด ทำให้สัตว์น้ำขาดออกซิเจนและตายได้ นอกจากนี้สาหร่ายที่ตายและทับถมที่พื้นเบื้องล่างเกิดการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้น้ำเน่าเหม็นในที่สุด ซึ่งไนเตรตปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้เกิดไฮโทรฟิเคชัน ซึ่งเป็นผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำ (ปราณี, 2548)

8.3.2 ผลต่อสุขภาพอนามัย

ไนเตรตมีความเข้มข้นสูงที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำใต้ดินซึ่งใช้เป็นแหล่งน้ำสำหรับบริโภคจะส่งผลกระทบต่อทารกที่มีอายุน้อยกว่า 3 เดือน คือ จะทำให้เกิดโรค Methemoglobinemia เนื่องจากไนเตรตจะไปทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินเกิดเป็นสาร Methemoglobin ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการรับส่งออกซิเจนในเลือด ทำให้เกิดอาการตัวเขียว หรือ Blue Baby และอาจถึงตายได้ นอกจากนี้ยังพบว่าไนเตรตถ้าทำปฏิกิริยากับ Amines ก็จะทำให้เกิด Nitrosamines ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (ชงชัย, 2545)

8.3.3 ความเป็นพิษของไนเตรตต่อสัตว์น้ำ

ไนเตรตที่มีความเข้มข้นสูงมีพิษต่อปลาบางชนิด เมื่อไนเตรตสะสมถึงระดับหนึ่งจะมีผลต่อ Osmoregulation การขนส่งออกซิเจนเป็นพิษต่อตับและอาจทำให้เกิด Methemoglobinemia ไนเตรต-ไนโตรเจนเป็นพิษต่อปลาที่ระดับความเข้มข้น 181 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ความเข้มข้น 69 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสาเหตุของ Anorexia และทำให้ปลาติดโรคง่ายขึ้น

9. ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)

ไนโตรเจนในน้ำมักพบได้ในรูปของแก๊สไนโตรเจนละลายและสารประกอบไนโตรเจน ซึ่งสารประกอบไนโตรเจนในน้ำ จำแนกได้เป็น 4 ชนิดคือ สารอินทรีย์-ไนโตรเจน (Organic - Nitrogen) แอมโมเนีย (Ammonia) ไนไตรต์ (Nitrite) และ ไนเตรต (Nitrate) ซึ่งสารประกอบอินทรีย์-ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนรูปกลายเป็นแอมโมเนียโดยกระบวนการ แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) แล้วเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันเปลี่ยนรูปต่อไปกลายเป็น ไนไตรต์ (Nitrite) และไนเตรต (Nitrate) ตามลำดับ

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

$$\text{หรือ} = \text{สารอินทรีย์-ไนโตรเจน} + \text{สารอนินทรีย์-ไนโตรเจน}$$

ผลรวมของสารอินทรีย์-ไนโตรเจนและแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เรียกว่า ทีเคเอ็น ไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen หรือ TKN)

$$\begin{aligned} \text{TKN} &= \text{สารอินทรีย์-ไนโตรเจน} + \text{แอมโมเนีย-ไนโตรเจน} \\ \text{ดังนั้น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด} &= \text{ทีเคเอ็น-ไนโตรเจน} + \text{ไนเตรต} + \text{ไนไตรต์} \end{aligned}$$

การตรวจวิเคราะห์ค่าไนโตรเจนในงานน้ำเสียมักจะวัดอยู่ใน 2 รูปได้แก่ ค่าทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) และค่าไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen, TN) ซึ่งการวัดค่าทีเคเอ็นจะเป็นการวัดปริมาณอินทรีย์-ไนโตรเจนร่วมกับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำเสีย ส่วนการวัดค่าไนโตรเจนทั้งหมดจะเป็นการวัดค่าทีเคเอ็นร่วมกับปริมาณไนไตรต์และไนเตรตในน้ำเสีย

สารอินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ ไนโตรเจนที่พบอยู่ในสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น ยูเรีย โปรตีน ถั่วเหลือง และมูลสัตว์ เป็นต้น ในบรรดาสารไนโตรเจนทั้ง 4 ชนิด สารอินทรีย์ไนโตรเจนจัดเป็นรูปรีดิวซ์มากที่สุด ในทางตรงกันข้ามไนเตรตเป็นชนิดที่อยู่ในรูปออกซิไดซ์มากที่สุด เนื่องจากการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์-ไนโตรเจนใช้วิธีที่เรียกว่า Kjeldahl (เจลดาล์) ซึ่งเป็นวิธีการย่อยสลายสารอินทรีย์-ไนโตรเจนให้กลายเป็นแอมโมเนียและวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนได้

จากแอมโมเนียที่เกิดขึ้น จึงนิยมเรียกผลรวมของสารอินทรีย์ในโตรเจนและแอมโมเนียว่า Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)

$$\text{TKN} = \text{สารอินทรีย์-ไนโตรเจน} + \text{แอมโมเนีย-ไนโตรเจน}$$

10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน และทีเคเอ็น

พรรณีชัย (2551) ทำการศึกษาเกี่ยวกับ เทคโนโลยีพืชบำบัดตามแนวพระราชดำรินี้ ได้รับการศึกษาวิจัยและพัฒนาโดยโครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมภาคฝักเห็บ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ซึ่งได้ทำการพัฒนาใช้พืชทั่วไป 3 ชนิด คือ ฐูปฤณี กกกลม (จันทบูร) และหญ้าแฝก อินโดนีเซีย เป็นพืชที่หาได้ง่ายโดยทั่วไปและมีแพร่หลายอยู่ในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีอีกด้วย

จันทวรรณ (2539) ทำการศึกษาเรื่อง การบำบัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี โดยใช้ดินในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช พบว่า กกกลม และฐูปฤณีสามารถบำบัดธาตุอาหารในน้ำได้ดีพอๆกัน แต่ฐูปฤณีมีความต้องการธาตุอาหารที่มากกว่ากกกลม ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารออกไปจากดินและระบบ จึงควรเลือกใช้กกกลม เนื่องจากบำบัดธาตุอาหารในน้ำได้ดีพอๆกับฐูปฤณี และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่าฐูปฤณี

ภาวิศุระ (2545) ทำการศึกษา เรื่อง ประสิทธิภาพและคุณภาพน้ำใต้ดินในผิวดินจากในแปลงทดลองบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้หญ้ากรองน้ำเสีย บริเวณแหลมฝักเห็บ จังหวัดเพชรบุรี โดยการปล่อยน้ำไหลผ่านแปลงทดลองที่ทำการปลูกพืชทดลอง 3 ชนิด คือ กกกลม หญ้าแฝก อินโดนีเซีย ฐูปฤณี และแปลงควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืช ได้ทำการทดลองในลักษณะการปล่อยน้ำเสียเข้าแปลงทดลองในอัตรา 150 ลิตรต่อพื้นที่ 1 ไร่ต่อเนื้อที่ทุกวัน วันละ 7 ชั่วโมง ในช่วงระหว่างเวลา 09.00-16.00 น. ครบอายุการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยทำการเก็บตัวอย่างก่อนเข้าแปลงและน้ำใต้ผิวดิน (ในท่อเก็บตัวอย่าง) ระยะ 60 เมตร และ 100 เมตร เก็บตัวอย่างนำมาวิเคราะห์ทุก 2 สัปดาห์ ตลอดช่วงอายุพืชซึ่งจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละชนิดพืชพบว่า ต้นกกกลมมีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำเสียโดยรวม กล่าวคือ กกกลมสามารถบำบัดบีโอดี สารแขวนลอยฟอสเฟต ทั้งหมด และปรอทได้ดี มีประสิทธิภาพสูง ทั้งยังสามารถนำผลผลิตไปใช้ประโยชน์มากกว่าพืชชนิดอื่น

ประภาภรณ์ (2543) ได้ศึกษาถึงรูปของแอมโมเนียในดินจากการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีพืชกรองน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณแอมโมเนียรูปต่างๆ ในดินที่ปลูกพืชชนิดต่างๆ และแปลงไม่ปลูกพืชมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณแอมโมเนียรูปต่างๆ มีมากที่สุด ในดินของแปลงควบคุม และเป็นระบบเปิด และปริมาณน้อยที่สุดพบในดินที่ปลูกหญ้าสตาร์ และหญ้าโคสครอส ปริมาณแอมโมเนียรูปต่างๆ ที่ระยะต่างๆ ในแต่ละแปลงก็มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปริมาณสูงสุดจะพบที่ระยะทาง 100 เมตร และน้อยที่สุดที่ระยะทาง 40 เมตร และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุด พบในดินที่ปลูกหญ้าคาล่า และน้อยที่สุดพบในดินที่ปลูกหญ้าสตาร์ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบมากที่สุดที่ระยะทาง 60 เมตร และน้อยที่สุดที่ระยะทาง 100 เมตร ของแต่ละแปลง จากการทดลองนี้อาจสรุปได้ว่าหญ้าสตาร์ดูดกินแอมโมเนียรูปที่ละลายน้ำได้มากที่สุด และหญ้าโคสครอสดูดกินแอมโมเนียรูปต่างๆ มากที่สุด

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 ขณะที่ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า TKN และผลกระทบที่มีต่อค่า pH ร้อยละ 11-17 และ 6-12 ตามลำดับ จากการทดลอง Ferric Chloride จะมีประสิทธิภาพในการบำบัด SS ได้ดีที่สุด (ร้อยละ 91 ที่ความเข้มข้น 220 มิลลิกรัมต่อลิตร) ขณะที่ PAC จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัด COD และให้ปริมาณ Sludge ได้สูงสุดหรือร้อยละ 51 โดยใช้ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ร้อยละ 11 ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และจากข้อมูลที่ได้ทำให้ทราบว่าความเข้มข้นของ Alum, PAC และ Ferric Chloride ที่มีค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมสูงสุดคือ 140, 25 และ 180 มิลลิกรัมต่อลิตร และคิดเป็นค่าใช้จ่ายในด้านของสารเคมี (Industrial Grade) ที่ใช้ในกระบวนการบำบัดต่อน้ำเสียหนึ่งลูกบาศก์เมตรเป็นจำนวนเงิน 1.41, 0.65 และ 20.07 บาท ตามลำดับ

ลลิตี (2553) ได้ศึกษาถึงการประยุกต์ระบบบึงประดิษฐ์บำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้บัวหลวงและกกตั้งกา พบว่าความสามารถของกกตั้งกาและบัวหลวงในการลดค่าสารอินทรีย์ ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และของแข็งทั้งหมด ด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลได้ผิวดินในแนวนอนร่วมกับระบบไหลผิวดิน โดยใช้น้ำเสียจากหอพักนิสิตหญิงและตึกพักบุคลากร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร ประกอบด้วย 3 ชุดการทดลอง คือ บ่อทดลองหลัก บ่อควบคุมการทดลอง โดยบ่อควบคุมจะแบ่งเป็นบ่อปลูกพืชและ

ไม่ปลูกพืช อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบ่อทดลองหลักเป็น 400 ลิตร ต่อวัน โดยทั้ง 3 ชุดการทดลองจะควบคุมระยะเวลาเก็บเท่ากับที่ 3 วัน ซึ่งทั้ง 3 ชุดการทดลองนี้ ดำเนินการทดลองระบบไปพร้อมกับบ่อควบคุมการทดลอง

Boyde (1970) ทำการศึกษาเรื่อง Vascular Aquatic Plants for Mineral Nutrient Removal from Polluted Water พบว่า ธูปฤๅษีเป็นวัชพืชที่มีศักยภาพในการกำจัดและบำบัดน้ำเสีย เพราะรากของธูปฤๅษีมีความสามารถในการดูดซับอาหาร ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่อยู่ในน้ำเสียได้ค่อนข้างสูง ทั้งยังสามารถดูดซับธาตุโลหะหนักได้ เช่น โปรท ตะกั่ว แคลเซียม นอกจากนี้ สามารถนำธูปฤๅษีมาใช้ประโยชน์ในการผลิตจักสาน มุงหลังคาบ้าน และกระดาษ

Abdul-Talib *et al.* (2002) ศึกษาสภาวะแอนอกซิกในน้ำเสียชุมชนพบว่าที่ความเข้มข้นของไนเตรตมากกว่า $5 \text{ g-NO}_3^-/\text{m}^3$ จะไม่มีผลในการจำกัดอัตราการใช้ในเทรตในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน และพบว่าในสภาวะที่มีสารอาหารและไนเตรตเกินพอ อัตราการใช้ไนเตรตจะอยู่ในช่วง $0.8 - 2.0 \text{ g-NO}_3^-/\text{m}^3\text{-h}$

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

Boonsong and Chansiri (2006) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกกลุ่ม 2 แหล่งพันธุ์ คือ สงขลา 3 และสุราษฎร์ธานี ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่างกัน 2 ระดับ คือ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น มีค่าบีโอดีระหว่าง 61.13 ถึง 115.50 มิลลิกรัมต่อลิตร (ความเข้มข้นสูง) และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สอง มีค่าบีโอดี ระหว่าง 36.00 ถึง 51.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ความเข้มข้นต่ำ) พบว่า หญ้าแฝกแหล่งพันธุ์สุราษฎร์ธานี มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ยกเว้นแอมโมเนีย โดยมีประสิทธิภาพในการลดบีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และออร์โทฟอสเฟต เท่ากับร้อยละ 91.46 , 62.48 , 35.87 และ 23.46 ตามลำดับ ส่วนหญ้าแฝกแหล่งพันธุ์สงขลา 3 มีประสิทธิภาพในการลดค่าแอมโมเนียได้สูงสุคร้อยละ 58.62

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

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

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 โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (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, $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- 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, $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_8$) 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_6H_9N) Grade AR

2.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่เคเอ็น

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 ฟีนอล์ฟธาเลอิน (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, $C_{16}H_{18}N_3ClS \cdot 2H_2O$) 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 – ไนโตรเจน เข้มข้น 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 มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 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)

ชั่งโซเดียมซาลิไซเลต 8.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.4 สารละลายโซเดียมไนโตรปริสไซด์ (Sodium Nitroprusside Solution)

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

1.5 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรด-ไนโตรเจนเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งผลึกโพแทสเซียมไนเตรด 0.7218 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน

1.6 สารละลายกรดซिटริกเข้มข้น 50% W/V

ชั่งกรดซिटริก 50.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.7 ผสมระหว่างกรดซัลฟานิลิก, แมงกานีสซัลเฟต, ผงสังกะสี, อีดีทีเอ และแอลฟา-แนฟทิลอะมีน

ชั่งกรดซัลฟานิลิก 8.0 กรัม, แมงกานีสซัลเฟต 20.0 กรัม, ผงสังกะสี 1.0 กรัม, อีดีทีเอ 2.0 กรัม และแอลฟาแนฟทิลอะมีน 1.0 กรัม นำสารที่ชั่งได้แต่ละตัวมาบดให้ละเอียด จากนั้นนำสารทั้งหมดมาผสมกันและบดให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน เก็บในขวดที่แห้งและปิดสนิท (ศิริพร, 2554)

1.8 น้ำย่าย่อยสลาย (Digestion Mixture)

ชั่งโพแทสเซียมซัลเฟต 134.0 กรัม และซังกอปเปอร์ซัลเฟต ละลายในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 134.0 มิลลิลิตร ทำให้เย็น จากนั้นเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตร เป็น 1,000 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการตกผลึก

1.9 ฟีนอล์ฟธาไลน์อินดิเคเตอร์

ชั่งฟีนอล์ฟธาไลน์ 0.5 กรัม แล้วนำไปละลายในแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำ กลั่นปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร

2.0 สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม

ชั่งเมทิลเรด 1.0 กรัม โดยละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ 50.0 มิลลิลิตร และชั่งเมทิลินบลู 0.5 กรัม โดยละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ 25.0 มิลลิลิตร จากนั้นเทสารละลายทั้ง 2 ชนิดผสมกัน เก็บ ในขวดแก้ว

2.1 สารละลายอินดิเคเตอร์กรดบอริก (Indicator Boric Acid Solution)

ชั่งกรดบอริก 20.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น เติมสารละลายอินดิเคเตอร์ผสม 10.0 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไซโอซัลเฟต

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500.0 กรัม และชั่งโซเดียมไซโอซัลเฟต 25.0 กรัม ละลายใน น้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

2.3 สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.02 นอร์มอล

ปิเปตสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.54 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร เจือจางจนถึงปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจน

2.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

ปีเปตสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมไว้ในข้อ 1.1.2 ปริมาตรต่างๆ กัน ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจะได้สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่ความเข้มข้นต่างๆ กันดังตารางที่ 5 ปีเปตสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน แต่ละความเข้มข้นมา 5.0 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมซาลีไซเลต 1.0 มิลลิลิตร สารละลายโซเดียมไนโตรปริสไซค์ 1.0 มิลลิลิตร หยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไฮโปคลอไรท์รีเอเจนท์ 5 หยด ทิ้งไว้นาน 15 นาที และเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตร (ตัดแปลงจากวิธีพีเนต) เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ 650 นาโนเมตร เขียนกราฟมาตรฐาน โดยแกนตั้งแทนค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้ ส่วนแกนแนวนอนแทนค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน คำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้นและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ตารางที่ 5 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-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 มิลลิลิตร

ลงในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร จำนวน 8 ขวด ตามลำดับ แล้วเติมน้ำกลั่นแต่ละขวด จนถึงขีดบอกปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของไนเตรต-ไนโตรเจน เท่ากับ 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0, 30.0, 35.0, 40.0, 45.0 และ 50.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 6

2.2.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนเตรต -ไนโตรเจน แต่ละความเข้มข้นอย่างละ 10.0 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองแต่ละหลอด เติมสารละลายกรดซัลฟริก 50% W/V 0.5 มิลลิลิตร ที่เตรียมไว้ในข้อ 1.6 และผงผสม 3 ชั้นที่เตรียมไว้ในข้อ 1.7 เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่า ทิ้งไว้ 30 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายแบลนด์ที่ใช้ น้ำกลั่นแทนสารละลายไนเตรต และเขียนกราฟมาตรฐานโดยแกนตั้งแทนค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้ ส่วนแกนแนวนอนแทนค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนเตรต -ไนโตรเจน กำหนดหาสมการถดถอยเชิงเส้น และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ตารางที่ 6 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรต-ไนโตรเจน ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนเตรต-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)	ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานไนเตรต-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. การศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบหมุนเวียนน้ำเสีย ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

ศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบหมุนเวียนน้ำเสียและสำรวจแปลงพืช 4 แปลง ในระบบ
หมุนเวียนน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจาก
พระราชดำริ ได้แก่ กกกกลม, ฐปฤายี่, หญ้าแฝกอิน โคนีเซีย และแปลงควบคุม ดังภาพที่ 10



(ก.)



(ข.)



(ค.)



(ง.)

ภาพที่ 10 แปลงหมุนเวียนน้ำเสีย กกกกลม(ก.), ฐปฤายี่(ข.), หญ้าแฝกอิน โคนีเซีย(ค.) และแปลง
ควบคุม (ง.)

4. การเก็บน้ำตัวอย่างและการวิเคราะห์

4.1 ระยะเวลาเก็บน้ำตัวอย่าง

ทำการเก็บน้ำตัวอย่าง โดยอ้างอิงจากกรมอุตุนิยมวิทยาซึ่งแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ

ฤดูฝน (Wet Period) เก็บน้ำตัวอย่างในช่วงเดือนพฤษภาคม - มิถุนายน เดือนละ 2 ครั้ง

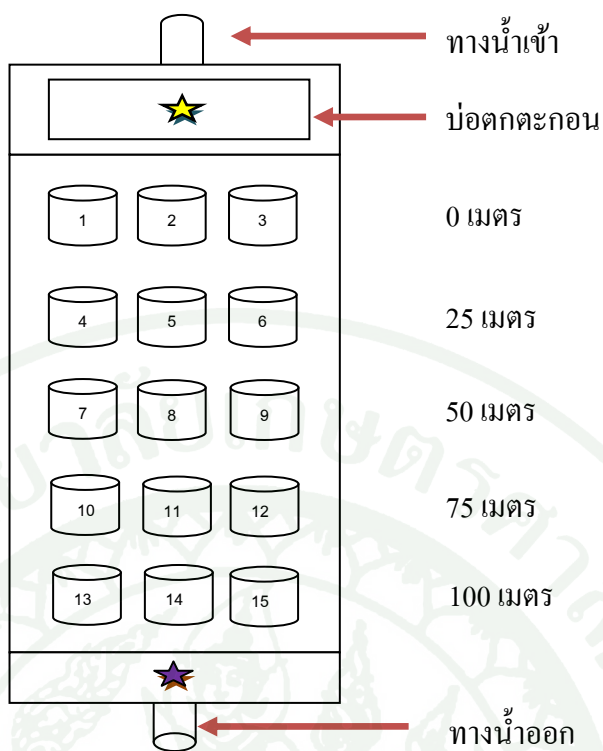
ฤดูแล้ง (Dry Period) เก็บน้ำตัวอย่างในช่วงเดือนมีนาคม - เมษายน เดือนละ 2 ครั้ง

4.2 จุดเก็บน้ำตัวอย่าง

จุดเก็บน้ำตัวอย่าง แบ่งได้เป็น 2 ข้อ ดังนี้

4.2.1 เก็บน้ำตัวอย่างจากบ่อดักตะกอนที่รวบรวมจากน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ก่อนปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมภาคลุ่มแม่แฝกเข็ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ และน้ำที่ออกจากแปลงบำบัดด้วยพืชรากยาว ทั้งหมด 4 แปลง คือ กกกลม ฐปฤณี หญ้าแฝกอินโดนีเซีย และแปลงควบคุม ดังภาพที่ 10 เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้น เช่น อุณหภูมิ (Temperature, °C), ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH), ค่าการนำไฟฟ้า (EC, $\mu\text{s}/\text{cm}$), ความเค็ม (ppt), ของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (TDS, mg/l), ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO, mg/l), ซีโอดี (COD, mg/l) และบีโอดี (BOD, mg/l) และวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน และทีเคเอ็น

4.2.2 เก็บน้ำตัวอย่างโดยเก็บน้ำจากท่อ PVC ทั้งหมด 4 แปลง แปลงละ 15 จุด ดังภาพที่ 11,12 ล้างภาชนะบรรจุน้ำตัวอย่างก่อนแล้วจึงบรรจุน้ำตัวอย่างให้เต็มขวด ปิดฝาให้สนิท ปิดฉลากให้เรียบร้อย นำไปแช่น้ำแข็งที่เตรียมไว้เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน และทีเคเอ็น ในห้องปฏิบัติการ (ควรทำการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน ภายในเวลา 1-2 วัน เนื่องจากอาจเกิดการสลายตัวไปตามวัฏจักรไนโตรเจนได้)



ภาพที่ 11 ลักษณะพื้นที่และจุดเก็บน้ำตัวอย่างของระบบหมุนกรองน้ำเสีย



ภาพที่ 12 จุดเก็บน้ำตัวอย่างจากท่อ PVC

5. การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน และทีเคเอ็นในน้ำตัวอย่าง

5.1 การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

ปีเปิดน้ำตัวอย่างมา 5.0 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมซาลีไซเลต 1.0 มิลลิลิตร สารละลายโซเดียมไนโตรปริสไซค์ 1.0 มิลลิลิตร หยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ -โซเดียมไฮโปคลอไรท์รีเอเจนท์ 5 หยด ทิ้งไว้ 15 นาที และเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตร (ตัดแปลงจากวิธีพีเนต) เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ 650 นาโนเมตร

5.2 การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน

ปีเปิดน้ำตัวอย่าง 10.0 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง เติมสารละลายกรดซัลฟริก 50 % W/V 0.5 มิลลิลิตร เติมผงผสม 3 ซ้อน นำเข้าเครื่องเขย่าประมาณ 1 นาที 15 วินาที ทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ 530 นาโนเมตร

5.3 การวิเคราะห์ปริมาณทีเคเอ็น

5.3.1 ขั้นตอนการย่อยสลาย (Digestion Step)

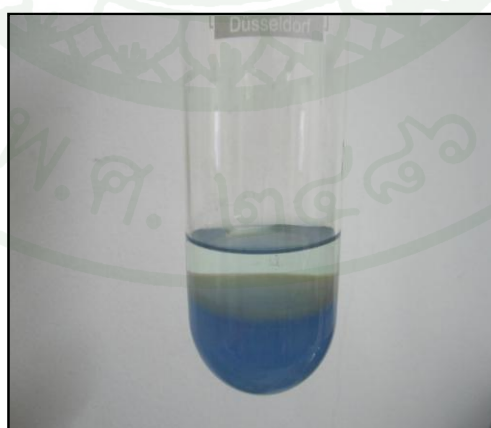
ตวงน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดเจลด้าห์ลขนาด 500 มิลลิลิตร และน้ำย่อยสลาย 20 มิลลิลิตร นำไปต้มบนเครื่องย่อยสลาย จนกระทั่งสารละลายใส (หรือมีสีฟ้าซีดๆ) ให้ทำการย่อยสลายต่ออีก 30 นาที แล้วทิ้งให้เย็น ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 เครื่องมือวิเคราะห์ที่เคเอ็น

5.3.2 ขั้นตอนการกลั่น (Distillation Step)

เมื่อสารละลายที่ได้จากการย่อยในข้อที่ 5.3.1 เย็น เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และเติมฟีนอล์ฟธาลินอินดิเคเตอร์ 3 หยด เขย่า จากนั้นเอียงขวดเจลาห์ลค่อยๆ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไธโอซัลเฟตลงไป 20 มิลลิลิตร เพื่อให้เกิดชั้นต่างที่กั้นขวดเจลาห์ล ดังภาพที่ 14 นำเข้าเครื่องกลั่นเพื่อกลั่นแยกแอมโมเนีย โดยปลายหลอดที่ต่อจากเครื่องควบแน่นจุ่มลงในพลาสติกที่รองรับมีสารละลายอินดิเคเตอร์กรดบอริกอยู่ 50 มิลลิลิตร ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 14 ขั้นตอนการเกิดชั้นต่างที่กั้นขวดเจลาห์ล



ภาพที่ 15 เครื่องกลั่นแยกแอมโมเนีย

5.3.3 ขั้นตอนการไทเทรต (Titration Step)

ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.02 นอร์มอล จนกระทั่งสารละลายเป็นสีม่วงอ่อน

6. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

7. ระยะเวลาในการทดลอง

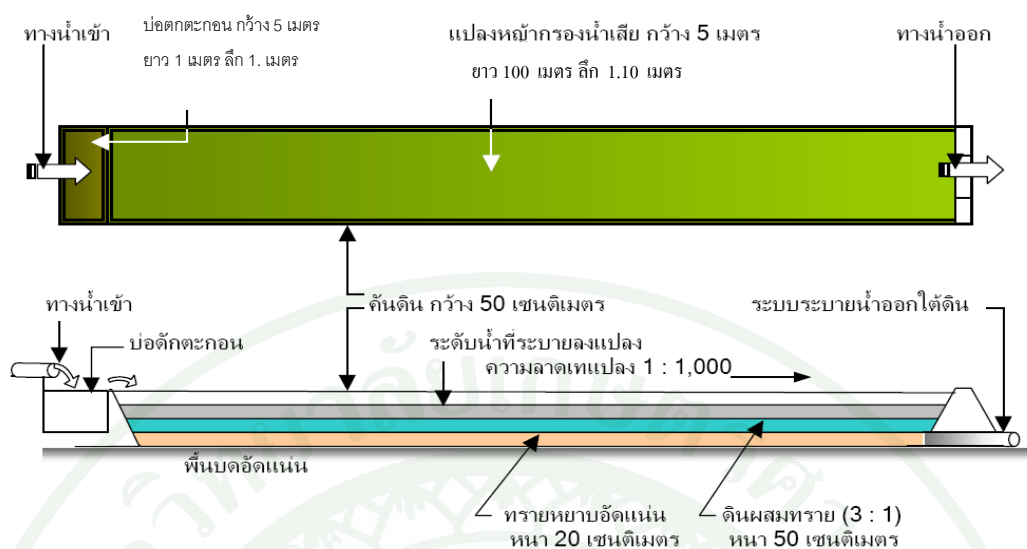
ระยะเวลาที่ทำการทดลอง 12 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 และสิ้นสุดการทดลองในเดือนเมษายน พ.ศ. 2556

ผลและวิจารณ์

การศึกษากการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน ในน้ำเสียมชุมชนเมืองเพชรบุรี ที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบหล้ากรองน้ำเสียที่ปลูกพืชรากยาว ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยศึกษาปัจจัยที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน คือ ฤดูกาล (ฤดูฝนและฤดูแล้ง), ชนิดของพืชรากยาว ได้แก่ กกกลม หล้าแฝกอินโดนีเซีย และรูปถาญี และระยะทางต่างๆกันที่น้ำไหลผ่านแปลงพืชแต่ละแปลง ซึ่งได้ผลการศึกษาดังนี้

1. ระบบหล้ากรองน้ำเสีย

ระบบหล้ากรองน้ำเสียประกอบด้วยบ่อดกตะกอนกว้าง 5 เมตร ยาว 1 เมตร ลึก 1 เมตร เพื่อเก็บน้ำเสียมชุมชนเมืองเพชรบุรี และแปลงพืชมีขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 100 เมตร ลึก 1.10 เมตร พื้นดินเป็นดินอัดแน่นปรับพื้นที่ให้มีความลาดชัน 1:1,000 และรองพื้นด้วยทรายหยาบสูง 20 เซนติเมตร โดยให้มีความลาดชัน 1:1,000 เช่นกัน เพื่อให้น้ำเสียได้ไหลในอัตราที่เหมาะสม ส่วนดินที่ใช้ ส่วนบนเป็นดินผสมในสัดส่วน ดิน:ทราย เท่ากับ 3:1 และมีความหนาเท่ากันทั่วทั้งแปลง ดังภาพที่ 16 และปลูกพืชรากยาว 3 ชนิด คือ กกกลม หล้าแฝกอินโดนีเซีย และรูปถาญี ส่วนแปลงควบคุม จะไม่มีการปลูกพืชดังภาพที่ 17,18,19,20 วิธีการบำบัดทำโดยปล่อยน้ำเสียขังไว้ 5 วัน ระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดออกทางระบายน้ำใต้ดินสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ แล้วปล่อยให้แห้ง 2 วัน จึงเติมน้ำเสียใหม่ลงสู่แปลงบำบัดต่อไป ซึ่งในแต่ละแปลงมีจุดเก็บน้ำตัวอย่างทั้งหมด 15 จุด



ภาพที่ 16 เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหมักกรองน้ำเสีย

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมภาคลุ่มแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2551)



ภาพที่ 17 แปลงกกกลม



ภาพที่ 18 แปลงรูปฤาษี



ภาพที่ 19 แปลงหญ้าแฝกอิน โดนิเซีย



ภาพที่ 20 แปลงควบคุม

2. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

การวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำตามวิธีการที่กำหนดไว้ใน Standard Method for Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WEF, 1995) โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสีย 2 ฤดูกาล คือ ฤดูฝนและฤดูแล้ง ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้นของน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดห้วยากรอง
น้ำเสียในฤดูฝนและฤดูแล้ง

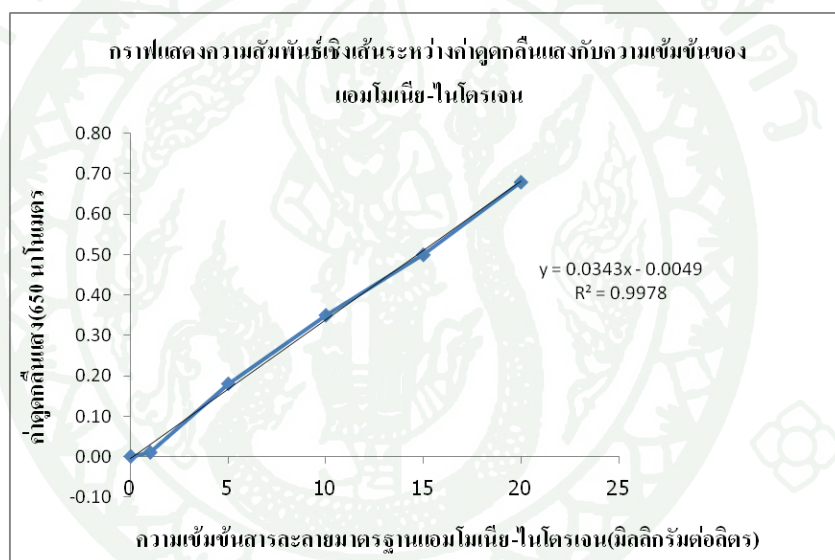
		ค่าการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้น							
ฤดูกาล	แปลงพืช	อุณหภูมิ (°C)	pH	EC (µS/cm)	Salinity (ppt)	TDS (mg/l)	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)
ฤดูฝน									
น้ำก่อนเข้า	บ่อ								
ระบบบำบัด	ตกตะกอน	31.9	7.4	825.5	0.2	549.3	2.1	134	48.3
น้ำออกจาก	ควบคุม	34.3	7.3	956.0	0.3	620.0	6.0	105	22.3
ระบบบำบัด	กกกลม	32.6	7.4	966.0	0.3	635.5	4.9	79	12.5
	ห้วยแฝก								
	อินโดนีเซีย	31.1	7.7	1206.0	0.4	784.5	9.9	99	13.8
	รูปถายี	31.1	7.6	1380.0	0.5	904.5	8.1	84	12.0
ฤดูแล้ง									
น้ำก่อนเข้า	บ่อ								
ระบบบำบัด	ตกตะกอน	34.7	7.2	1621.9	0.1	384.3	1.9	118	45.3
น้ำออกจาก	ควบคุม	36.5	7.4	1395.0	0.2	562.0	6.5	87	17.3
ระบบบำบัด	กกกลม	36.9	7.0	2330.0	0.3	650.0	7.2	79	10.9
	ห้วยแฝก								
	อินโดนีเซีย	36.0	7.3	2363.0	0.4	715.0	8.5	77	9.7
	รูปถายี	35.2	7.3	2328.5	0.4	666.5	6.9	82	11.9

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้นของน้ำก่อนเข้าระบบและน้ำออกจากระบบบำบัด ดังตารางที่ 7 พบว่า ในช่วงฤดูแล้ง น้ำตัวอย่างจากทุกจุดที่เก็บมีอุณหภูมิสูงกว่าในช่วงฤดูฝน แต่ไม่เกิน 40 °C ที่มาตรฐานกำหนด (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากในฤดูฝนและแสงแดดที่มีมากในช่วงฤดูแล้ง ส่วนพีเอช มีค่าอยู่ในช่วง 7.0-7.7 ไม่เกินเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดเช่นกัน (pH 5.5-9) (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) โดยทั้งสองฤดูกาลมีค่าพีเอชที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าแปลงพืชไม่ได้มีผลต่อค่าพีเอชหรือระบบบำบัด ซึ่งระบบบำบัดมีข้อด้อยคือ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่าการนำไฟฟ้า ความเค็ม และของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้สูงกว่าน้ำเสียก่อนผ่านการบำบัด อาจเนื่องจากชั้นวัสดุปลูกเป็นดินนา ทำให้น้ำเสียชะล้างเจือปนออกมาด้วย แต่ระบบมีข้อดีคือ ช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำได้ดีทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยน้ำเสียก่อนเข้าระบบมีออกซิเจนละลายในน้ำ ประมาณ <math><1-2</math> มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออกจากระบบบำบัดมีออกซิเจน

ละลายในน้ำ >4-9 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังสามารถบำบัดสารอินทรีย์ทั้งในรูปของบีโอดีและซีโอดีได้ดี โดยบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีได้ดีกว่าซีโอดี จะเห็นได้ว่าฤดูกาลไม่มีผลต่อการบำบัดพารามิเตอร์เบื้องต้นของน้ำเสีย

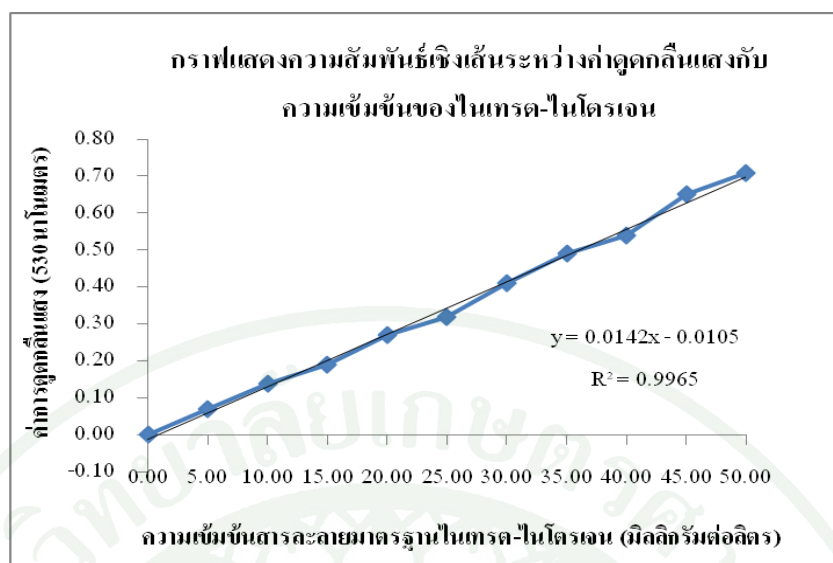
3. กราฟมาตรฐาน

กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังภาพที่ 21 มีสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $y=0.0343x-0.0049$ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) เท่ากับ 0.9978 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.995-1.000)



ภาพที่ 21 กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

กราฟมาตรฐานไนเตรด-ไนโตรเจน ที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังภาพที่ 22 มีสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $y=0.0142x-0.0105$ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) เท่ากับ 0.9965 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.995-1.000)



ภาพที่ 22 กราฟมาตรฐานไนเตรด-ไนโตรเจน

4. ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน

จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในรูป แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเตรด-ไนโตรเจน ที่เคเอ็นและสารอินทรีย์-ไนโตรเจน พบว่า น้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด (บ่อดักตะกอน) ในฤดูฝนมีปริมาณไนโตรเจนใน 4 รูป คือ 0.56, 0.05, 17.64 และ 17.08 มิลลิกรัมต่อลิตร และในฤดูแล้งมีปริมาณไนโตรเจนใน 4 รูป คือ 0.60, 0.05, 20.44 และ 19.84 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากน้ำเสียชุมชนได้ไหลรวมมาตามท่อ โดยไม่มีน้ำฝนปะปนมาด้วย ทำให้น้ำก่อนเข้าระบบมีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองฤดูกาล โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งสี่รูปในน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดมีค่าสูงกว่าน้ำออกจากระบบบำบัดของแปลงพืช ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณไนโตรเจนของน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดห้ำากรองน้ำเสียในฤดูฝน และฤดูแล้ง

ฤดูกาล	แปลงพืช	ปริมาณไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)			
		แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	ไนเตรต-ไนโตรเจน	ทีเคเอ็น	อินทรีย์-ไนโตรเจน
ฤดูฝน					
น้ำออกจาก	ควบคุม	0.43	0.11	8.96	8.53
ระบบบำบัด	กกกลม	0.21	0.05	3.76	3.55
	ห้ำาแฝกอินโดนีเซีย	0.12	0.04	4.07	3.95
	รูปถ้ำยี	0.10	0.01	1.80	1.70
ฤดูแล้ง					
น้ำออกจาก	ควบคุม	0.41	0.08	13.57	13.16
ระบบบำบัด	กกกลม	0.28	0.03	7.20	6.87
	ห้ำาแฝกอินโดนีเซีย	0.18	0.03	5.17	4.89
	รูปถ้ำยี	0.09	0.01	3.82	3.73

จากผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งในรูปแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเตรต-ไนโตรเจน ทีเคเอ็น และอินทรีย์-ไนโตรเจน พบว่า น้ำเสียก่อนเข้าระบบทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และทีเคเอ็น เกินมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนที่กำหนด (0.5 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่วนไนเตรต-ไนโตรเจน ไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน (5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร) (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) เนื่องจากไนเตรต-ไนโตรเจน เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน โดยแบคทีเรียไนตริไฟอิงแบคทีเรีย ซึ่งจะเกิดขึ้นในลำดับถัดไป ส่วนน้ำออกจากระบบบำบัด ปริมาณไนโตรเจนในทุกกรณีมีค่าไม่เกินมาตรฐาน ยกเว้นแปลงควบคุม ไนเตรต-ไนโตรเจน มีค่าสูงกว่าน้ำเข้าระบบ และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีค่าสูงกว่าแปลงอื่น อาจเนื่องมาจากแปลงควบคุมไม่มีการปลูกพืช จึงทำให้ไม่มีการนำเอาไนเตรต-ไนโตรเจนไปใช้ และทีเคเอ็นมีค่าสูงกว่าแปลงอื่นเช่นกัน อาจเพราะกระบวนการหรือปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในวัฏจักรไนโตรเจนเกิดอย่างไม่มีความสมดุล

5. ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดปริมาณไนโตรเจน ของแปลงพืชรากยาว ด้วยระบบหลุมกรองน้ำเสีย

1. ฤดูกาล

จากการศึกษาโดยวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในรูป แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในเทรต-ไนโตรเจน ทีเคเอ็น และสารอินทรีย์-ไนโตรเจน ในน้ำตัวอย่างก่อนเข้าระบบบำบัด และน้ำออกจากระบบบำบัดด้วยแปลงพืช 3 ชนิด คือ กกกลม กล้วย้า และหญ้าแฝกอิน โดนีเซีย และแปลงควบคุม ซึ่งไม่มีการปลูกพืช ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ร้อยละการบำบัดไนโตรเจน

ฤดูกาล	แปลงพืช	การบำบัดไนโตรเจน			
		แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (%)	ไนเทรต-ไนโตรเจน (%)	ทีเคเอ็น (%)	อินทรีย์-ไนโตรเจน (%)
ฤดูฝน					
น้ำออกจาก ระบบบำบัด	ควบคุม	23.21	-120.00*	49.21	50.06
	กกกลม	62.50	0.00	78.68	79.22
	หญ้าแฝกอิน โดนีเซีย	78.57	20.00	76.93	76.87
	กล้วย้า	82.14	80.00	89.80	90.05
ฤดูแล้ง					
น้ำออกจาก ระบบบำบัด	ควบคุม	31.67	-60.00*	33.61	33.67
	กกกลม	53.33	40.00	65.17	65.77
	หญ้าแฝกอิน โดนีเซีย	70.00	40.00	74.71	75.35
	กล้วย้า	85.00	80.00	81.31	81.20

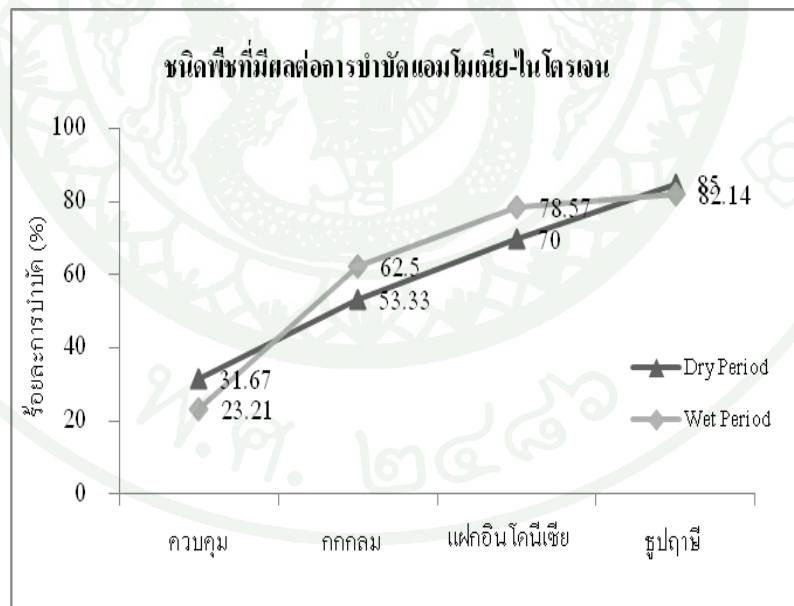
หมายเหตุ * หมายถึง ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจนของน้ำออกจากระบบบำบัดมีค่ามากกว่าน้ำก่อนเข้าระบบบำบัด

จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ทั้งสองฤดูกาล แปลงพืชแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเทรต-ไนโตรเจน ทีเคเอ็น และสารอินทรีย์-ไนโตรเจน ได้ใกล้เคียงกัน แสดงว่า ฤดูกาลไม่มีผลต่อการบำบัดไนโตรเจนของระบบบำบัดหลุมกรองน้ำเสียที่ปลูกพืชรากยาว

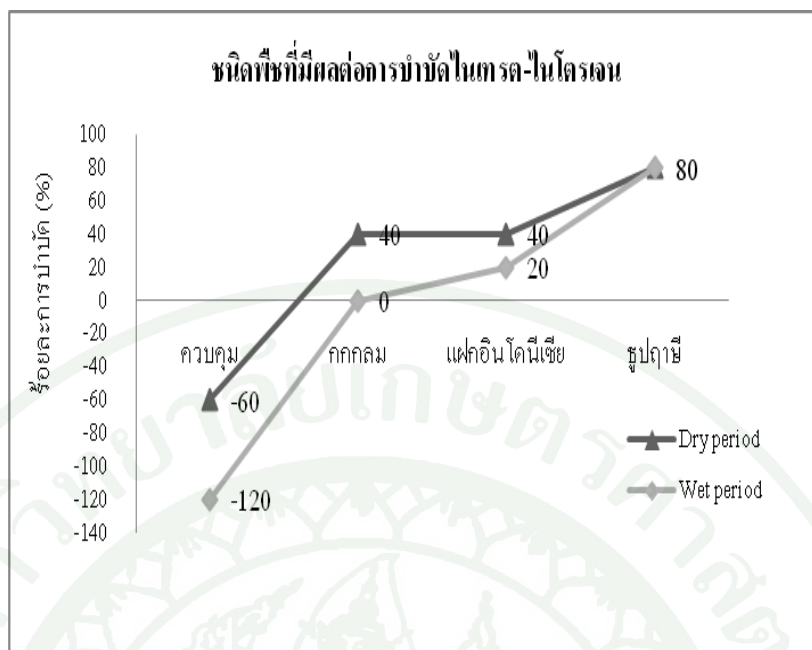
ยกเว้นแต่แปลงควบคุมที่ไม่มีปลูกพืช สามารถบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในเทรต-ไนโตรเจน ที่เคเอ็น และสารอินทรีย์-ไนโตรเจนได้ เนื่องจากชั้นวัสดุปลูกที่เป็นชั้นกรอง และการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน แต่แปลงควบคุมไม่มีพืชที่จุดไนเตรต-ไนโตรเจนไปใช้จึงทำให้น้ำออกจากระบบบำบัดมีปริมาณไนโตรเจนมากกว่าน้ำก่อนเข้าระบบบำบัด จะเห็นได้ว่า ฤดูกาลไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชน

2. ชนิดพืช

จากการศึกษาระบบหน้ากรองน้ำเสียด้วยพืชรากยาว 3 ชนิดคือ กกกลม หญ้าแฝกอินโดนีเซีย และ ระบุฤณี พบว่า พืชทั้งสามชนิดมีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในทุกรูปแบบได้ใกล้เคียงกัน โดยพืชที่บำบัดไนโตรเจนได้ดีที่สุดคือ ระบุฤณี รองลงมา คือ หญ้าแฝกอินโดนีเซีย และกกกลม ตามลำดับ ดังภาพที่ 23,24,25,26 จะเห็นได้ว่าแปลงควบคุมสามารถบำบัดไนโตรเจนได้ เนื่องจากชั้นของวัสดุปลูกมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนได้ในระดับหนึ่ง แต่แปลงควบคุมไม่มีพืชช่วยบำบัดจึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดต่ำกว่า

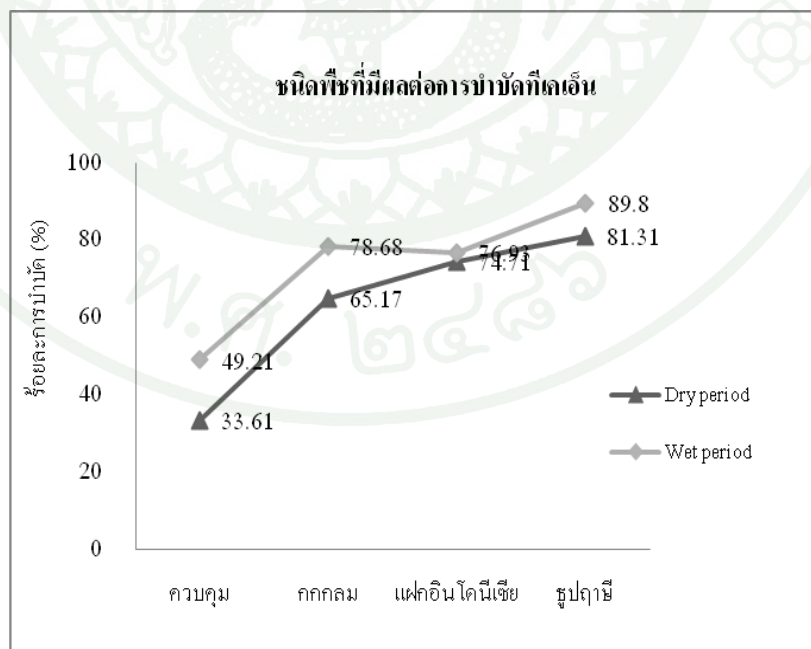


ภาพที่ 23 ชนิดพืชที่มีผลต่อการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

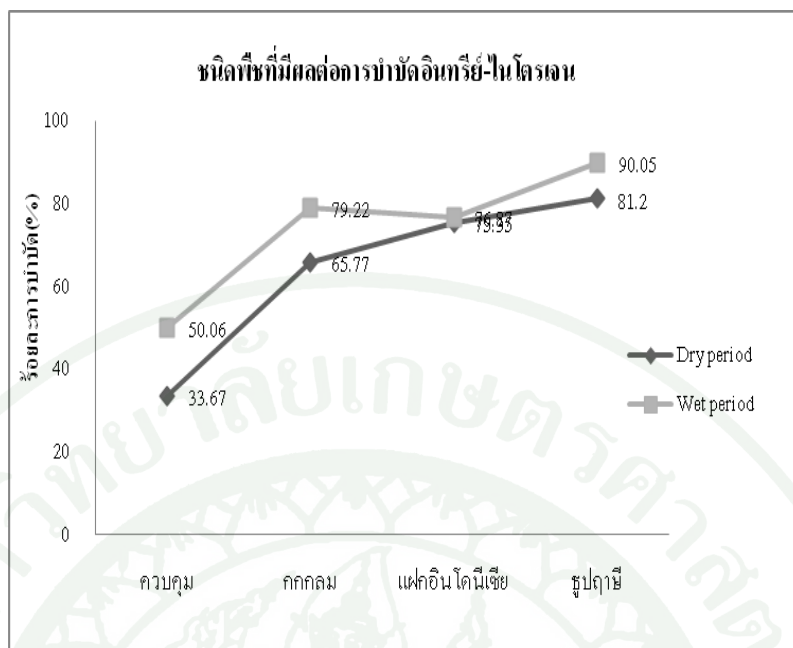


ภาพที่ 24 ชนิดพืชที่มีผลต่อการบำบัดไนโตรเจน

หมายเหตุ * แปลงควบคุม ไม่มีการปลูกพืช



ภาพที่ 25 ชนิดพืชที่มีผลต่อการบำบัดทีเคเอ็น



ภาพที่ 26 ชนิดพืชที่มีผลต่อการบำบัดสารอินทรีย์ -ไนโตรเจน

จากการวิเคราะห์ชนิดพืชในการบำบัดไนโตรเจน พบว่า พืชทั้งสามชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนเนื่องจากเป็นพืชที่มีระบบรากฝอยแผ่กว้าง และมีการเจริญเติบโตของรากได้รวดเร็ว อีกทั้งรากฝอยที่มีมากยังช่วยกรองสารอินทรีย์ และยังเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์อีกด้วย (กฤษณา, 2546) ประกอบกับระบบหญ้ากรองน้ำเสีย มีการปล่อยน้ำไหลผ่านแปลงหญ้ากรองแบบขัง 5 วัน และปล่อยให้แห้ง 2 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์ในดินได้พักตัว และระบบจะอาศัยการเติมอากาศด้วยรากพืชเป็นหลัก ซึ่งออกซิเจนจากรากพืชช่วยในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ที่อาศัยตามรากพืช ช่วยในการกำจัดน้ำเสียได้(เกรียงศักดิ์, 2539) โดยพืชที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณไนโตรเจนได้ดีที่สุดคือ ฐปฤถษ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Boyd (1970) กล่าวว่า ฐปฤถษเป็นวัชพืชที่มีศักยภาพในการกำจัด และบำบัดน้ำเสีย เพราะรากของต้นฐปฤถษมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ที่อยู่ในน้ำเสียได้ค่อนข้างสูง รองลงมา คือ หญ้าแฝกอิน โคนีเซย และกคกคคค ตามลำดับ อาจเนื่องจากหญ้าแฝกอิน โคนีเซย และกคกคคคมีความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนได้น้อยกว่าฐปฤถษ ซึ่งหญ้าแฝกอิน โคนีเซยสามารถกำจัดโลหะหนัก และซีโอดีได้ดี (ฐิตินันท์, 2549) และกคกคคคสามารถกำจัดบีโอดี ซีโอดี สารแขวนลอยฟอสเฟตทั้งหมด และปรอทได้ดี (ภาวิสุระ, 2545)

3. ระยะทางต่าง ๆ กันที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช

จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน พบว่าระยะทางต่าง ๆ กันที่น้ำไหลผ่านแปลงพืชแต่ละแปลงที่ระยะ 0, 25, 50, 75 และ 100 เมตร ทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ได้ผลดังตารางที่ 10, 11, 12 และ 13

ตารางที่ 10 ร้อยละการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่ระยะทางต่าง ๆ กันที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช

ฤดูกาล	แปลงพืช	ระยะทางที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช				
		0 เมตร	25 เมตร	50 เมตร	75 เมตร	100 เมตร
ฤดูฝน	ควบคุม	48.21	46.43	44.64	32.14	23.21
	กกกลม	85.71	82.14	73.21	60.71	62.50
	หญ้าแฝกอิน โดนิเซีย	89.29	87.50	85.71	83.93	78.57
	รูปถายี่	94.64	96.45	92.86	96.43	82.14
ฤดูแล้ง	ควบคุม	43.33	40.00	38.33	35.00	31.67
	กกกลม	56.67	53.33	55.00	50.00	53.33
	หญ้าแฝกอิน โดนิเซีย	65.00	61.67	58.33	66.67	70.00
	รูปถายี่	96.67	91.67	88.33	86.67	85.00

ตารางที่ 11 ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน ที่ระยะทางต่าง ๆ กันที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช

ฤดูกาล	แปลงพืช	ระยะทางที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช				
		0 เมตร	25 เมตร	50 เมตร	75 เมตร	100 เมตร
ฤดูฝน	ควบคุม	0.06	0.32	0.35	0.15	0.11
	กกกลม	0.06	0.17	0.14	0.09	0.05
	หญ้าแฝกอิน โดนิเซีย	0.04	0.10	0.07	0.05	0.04
	รูปถายี่	0.04	0.14	0.08	0.03	0.01
ฤดูแล้ง	ควบคุม	0.01	0.45	0.48	0.14	0.08
	กกกลม	0.04	0.23	0.17	0.09	0.03
	หญ้าแฝกอิน โดนิเซีย	0.03	0.12	0.07	0.03	0.03
	รูปถายี่	0.02	0.35	0.11	0.02	0.01

ตารางที่ 12 ร้อยละการบำบัดที่เคเอ็น ที่ระยะทางต่างๆกันที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช

ฤดูกาล	แปลงพืช	ระยะทางที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช				
		0 เมตร	25 เมตร	50 เมตร	75 เมตร	100 เมตร
ฤดูฝน	ควบคุม	46.03	49.66	47.17	45.92	49.21
	กกกลม	76.70	75.91	78.46	77.55	78.68
	หญ้าแฝกอิน โคนีเซีย	77.44	78.06	79.88	76.59	76.93
	รูปถ่าย	85.37	89.68	89.22	88.38	89.80
ฤดูแล้ง	ควบคุม	30.92	31.51	34.25	31.90	33.61
	กกกลม	68.05	66.88	66.68	65.61	65.17
	หญ้าแฝกอิน โคนีเซีย	68.54	66.10	71.43	73.97	74.71
	รูปถ่าย	77.84	79.06	79.60	80.68	81.31

ตารางที่ 13 ร้อยละการบำบัดสารอินทรีย์-ไนโตรเจน ที่ระยะทางต่างๆกันที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช

ฤดูกาล	แปลงพืช	ระยะทางที่น้ำไหลผ่านแปลงพืช				
		0 เมตร	25 เมตร	50 เมตร	75 เมตร	100 เมตร
ฤดูฝน	ควบคุม	45.96	49.77	47.25	46.37	50.06
	กกกลม	76.41	75.70	78.45	78.10	79.22
	หญ้าแฝกอิน โคนีเซีย	77.05	77.75	79.68	76.35	76.87
	รูปถ่าย	85.07	89.46	89.11	88.11	90.05
ฤดูแล้ง	ควบคุม	30.54	31.25	34.12	31.80	33.67
	กกกลม	68.40	67.72	67.72	66.08	64.71
	หญ้าแฝกอิน โคนีเซีย	68.65	66.23	71.82	74.19	75.35
	รูปถ่าย	77.27	78.68	79.33	80.49	81.20

จากการวิเคราะห์พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในทุกรูป ตามระยะทางที่น้ำเสียไหลผ่านแปลงพืชทุกระยะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากวิธีการบำบัดน้ำเสียมีการปล่อยน้ำเสียผ่านระบบหญ้ากรองน้ำเสียโดยการปล่อยน้ำเสียทิ้งไว้ 5 วัน จึงระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดออกทางระบายน้ำใต้ดินสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ดังนั้นในทุกระยะทางที่น้ำเสียไหลผ่านหรือแช่ขังมีสภาวะที่เหมือนกันหมด จึงทำให้มีร้อยละการบำบัดไนโตรเจนทุกรูปแบบได้ใกล้เคียงกัน ยกเว้นปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน ที่ระยะ 25-50 เมตร มีปริมาณมากกว่าที่ระยะอื่น อาจเนื่องมาจาก ไนเตรต-

ไนโตรเจน เกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชันซึ่งต้องใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาและการนำไปใช้
ของพืช



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในน้ำเสียที่ผ่านระบบหลู้ากรองน้ำเสียที่ปลูกพืชรากยาว ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษาดังนี้ ฤดูกาล (ฤดูฝนและฤดูแล้ง) ชนิดพืช ได้แก่ กกกลม หญ้าแฝกอินโดนีเซีย ฐูปถามิ และระยะทางต่าง ๆ กันที่น้ำไหลผ่านแปลงพืชแต่ละแปลงที่ระยะ 0, 25, 50, 75 และ 100 เมตร ตามลำดับ ซึ่งสรุปผลการศึกษาดังนี้ ช่วงฤดูกาล (ฤดูฝนและฤดูแล้ง) ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย คือสามารถบำบัดไนโตรเจนได้ค่าใกล้เคียงกันทั้งสองฤดูกาล ในส่วนของชนิดพืช พืชทั้งสามชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนในทุกรูปแบบได้ดี โดยพืชที่สามารถบำบัดไนโตรเจนได้ดีที่สุดคือ ฐูปถามิ รองลงมาคือ หญ้าแฝกอินโดนีเซียและกกกลม ตามลำดับ และระยะทางต่าง ๆ กันที่น้ำไหลผ่านแปลงพืชแต่ละแปลงนั้น ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจน เนื่องจากวิธีการบำบัด มีการขังน้ำเสียอยู่ในแปลงเป็นระยะเวลา 5 วัน จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงได้ว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบหลู้ากรองน้ำเสียที่ปลูกพืชรากยาวมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนได้ดีในทุกรูปแบบ

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงปริมาณ ไนโตรเจนในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบหลุมำกรองน้ำเสียที่ปลูกพืชรากยาว ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. มีการประยุกต์ใช้ในแหล่งน้ำเสียชุมชนของจังหวัดอื่นๆและมีการทดลองใช้พืชท้องถิ่นในการบำบัดน้ำเสีย
2. การทดลองในครั้งนี้มีขีดจำกัดในเรื่องของเวลาในการทดลอง ซึ่งจากการศึกษาของศิริพร (2554) ในการพัฒนาชุดทดสอบปริมาณแอมโมเนียและไนเตรดในน้ำภาคสนาม สำหรับโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพื่อความสะดวก รวดเร็ว และมีความเที่ยงตรงในการวัด
3. ระบบบำบัดหลุมำกรองน้ำเสียมีข้อด้อยคือ ไม่สามารถบำบัดค่าการนำไฟฟ้า, ความเค็ม และของแข็งที่ละลายน้ำได้ จึงควรพัฒนาระบบต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2537. **แนวทางควบคุมปัญหาน้ำเสียสำหรับองค์กรบริหารท้องถิ่น**. กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- _____. 2538. **เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำ และมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย**. กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2536. **รายงานผลการดำเนินงานโครงการพัฒนา และการรณรงค์การใช้หญ้าแฝก อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ประจำปี 2536**. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2541. **ความรู้เรื่องแฝก Vetiver Grass Overview**. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2548. **คู่มือเรื่องการใช้ประโยชน์หญ้าแฝกเพื่อการพัฒนาที่ดิน**. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2545. **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ.
- กฤษณา รุ่งโรจน์วิชช์. 2546. **หญ้าแฝกกับการอนุรักษ์ดินและน้ำ**. แหล่งที่มา: www.rta.mi.th/21100u/collum2/yafag2.htm, 9 กันยายน 2556.
- กุลภัทร์ พิธิษฐ์กุล. 2543. **การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยกระบวนการทางเคมี (Municipal Wastewater Treatment by Chemical Precipitation)**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เกษม จันทร์แก้ว. 2541. **เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม**. โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทร์แก้ว. 2540. โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี. โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. วิธีบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland System) การกำจัดน้ำเสีย, กรุงเทพฯ.

ขนิษฐา จารุวิชัยพงศ์. 2538. พฤติกรรมการใช้น้ำและการจัดการน้ำทิ้งของครัวเรือน ในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2535. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

โครงการศึกษาเพื่อจัดลำดับความสำคัญการจัดการน้ำเสียชุมชน. 2538. อัตราการเกิดน้ำเสีย. สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2541. เอกสารข้อมูลการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำบางประการของเทศบาลเมืองเพชรบุรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

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

จันทวรรณ วรรณนะพงศ์. 2539. การบำบัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี โดยใช้ดินในน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จเร ศดากร. 2535. แผลก แผลกหอม หญ้าแฝก. น.ส.พ. กลีกร 65 (2): 135-140.

จิตินันท์ ศักรานุกิจ. 2549. การใช้หญ้าแฝก *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. บำบัดน้ำเสียชุมชน
ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณัฐกานต์ พันชนะ. 2537. ผลกระทบจากการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการสูญเสียธาตุอาหาร
บริเวณลุ่มดิน จังหวัดกาญจนบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทิพวรรณ บุญวาที, วิเศษศักดิ์ ศรีสุริยธาดา และ สมศักดิ์ สุริโย. 2526. กก. ฝ่ายเอกสารคำแนะนำ
กองเกษตรสัมพันธ์. กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ.

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

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

นันทนา สัตตติวุฒิ. 2520. เคมีของน้ำเสีย, น. 1-25. ใน เอกสารวิชาการอนามัยสิ่งแวดล้อม.
กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

ปกรณ ประดิษฐ์ทอง. 2540. การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารพืชและโลหะหนัก ในระบบบำบัดน้ำเสีย
จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

ปราณี พันธุมสินชัย. 2548. มลพิษอุตสาหกรรมเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 4. สมาคมวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์. 2531. เอกสารการสอนวิชาชลธีวิทยา. คณะประมง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประกาศนียบัตร. 2543. การศึกษารูปของแอมโมเนียมในดินจากการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีพืช
กรองน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เปี่ยมศักดิ์ มานะเสวต. 2539. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 7. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

_____. 2533. แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์, กรุงเทพฯ.

พรชัย สุชาทร. 2538. การศึกษาความทนเค็มของหญ้าแฝก, น. 38 ใน รายงานผลการดำเนินงาน
โครงการพัฒนาและรณรงค์การใช้หญ้าแฝกอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ประจำปี 2536.
กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

พรณีย์ แดงศรี. 2551. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด และแบคทีเรียก่อโรค
ในน้ำเสียจากโรงงานฆ่าสุกรที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบพืชกรองด้วยธูปฤาษี จังหวัด
สุพรรณบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พัฒน์ จันทโรทัย. 2536. ข้อพิจารณาในการใช้พืชน้ำปรับปรุงคุณภาพน้ำ. วารสารวิทยาศาสตร์
มก 11 (3): 154-157.

พัฒนา มูลพฤกษ์. 2539. อนามัยสิ่งแวดล้อม. หจก. เอ็น.เอส.แอล พรินต์ติ้ง, กรุงเทพฯ.

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

ไพบุลย์ ประพฤติธรรม. 2528. เคมี่ของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไพรัช พงษ์วิเชียร. 2548. อิทธิพลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก. *ภูมิวารินอนุรักษ* 1 (19): 22-26.

ภาวสุระ ลิ้มปีสวัสดิ์. 2545. ประสิทธิภาพและคุณภาพน้ำใต้ผิวดินในแปลงทดลองบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้หญ้ากรอง บริเวณแหลมผักเบี้ยฯ จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มนพ รุ่งสุข. 2538. การเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม (*Veteveria zizanioides* (L.) Nash). ที่รดด้วยน้ำทิ้งจากชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำ และวิธีวิเคราะห์ สำหรับการวิจัยทางการแพทย์. ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมสัตว์น้ำ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสดสภา และ สุรเดช จินตกานนท์. 2521. คำบรรยายวิชาธาตุอาหารพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลลิตี ทับทิมทอง. 2553. การประยุกต์ระบบบึงประดิษฐ์บำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้บัวหลวงและกกลังกา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลักขมี คณานิรันดร์. 2539. ประสิทธิภาพของกกกลม *Cyperus corymbosus* รูปถ่าย *Typhaangustifolia* อ้อ *Phragmites australis* และแห้วทรงกระเทียม *Eleocharis dulcis* ในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสีย จากโรงงานอุตสาหกรรมซูปโลหะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- วงจันทร์ วงแก้ว. 2535. **หลักสรีรวิทยาของพืช**. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วิศิษฐ์ โชติกุล, นิลประไพ จันทภาพ และ ประพิศ แสงทอง. 2524. ผลของการขังน้ำที่มีต่อคุณสมบัติทางเคมีของดิน. **วารสารดินและปุ๋ย** 3 (1-2): 22-32, 114-122.
- วิระชัย ฒ นคร. 2537. การศึกษาอนุกรมวิธานของเห็ดราสกุล *Veiveria* ในประเทศไทย, ในเอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องการพัฒนา และธรรงค์การใช้เห็ดราฝักอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, เชียงราย.
- ศิริพร พรมดี. 2554. การพัฒนาชุดทดสอบปริมาณแอมโมเนียและไนเตรทในน้ำภาคสนาม สำหรับ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- โสครดา ขุนโท. 2543. แอมโมเนียกับอุตสาหกรรม. **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ** 49 (157): 11-13.
- สมชาย องค์กรประเสริฐ. 2531. **เอกสารคำสอนปฐพีศาสตร์เบื้องต้น**. ภาควิชาดินและปุ๋ยคณะผลิตกรรมการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้, เชียงใหม่.
- สมสุข มัจฉาชีพ. 2524. **นิเวศวิทยา**. สำนักพิมพ์แพรววิทยา, กรุงเทพฯ.
- สรสิทธิ์ วัชโรทยาน. 2518. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. (เอกสารอัดสำเนา)
- สิทธิชัย ตันธนะสฤษฎี. 2549. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2538. การใช้ดินตะกอนภาคพื้นสมุทรในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชเป็นต้นแบบในการบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุจินต์ พนาปวุฒิกุล. 2539. การบำบัดน้ำเสียชุมชนและอุตสาหกรรม โดยใช้ต้นอ้อหรือต้นกก (Reed-Bed). ในกรุงปักกิ่ง ประเทศจีน. *เดอะกรีนเพื่อสิ่งแวดล้อม* 3 (26): 76-84.

สุชาดา ศรีเพ็ญ. 2530. **พรรณไม้น้ำ**. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____, สายัณห์ ทัดศรี, จันทนา สุขปรีดี, สุวพงษ์ สวัสดิ์พาณิชย์, สมบัติ ชินะวงศ์ และ
 สุมณ มาสุชน. 2537. การคัดเลือกพันธุ์พืชที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธี
 Grass filtration เอกสารประกอบการบรรยายหมายเลข 7, น. 1-7. ใน **การประชุมเชิง
 ปฏิบัติการโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจาก
 พระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ณ โรงแรมริเจนท์ชะอำ
 อำเภอชะอำ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.**

สุชาดา ยางเอน. 2546. การกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียจากตู้เลี้ยงปลาโดยการกรองด้วยหินภูเขาไฟ.
 วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรศักดิ์ พรรณภัทรพงษ์. 2540. ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยบำบัดน้ำเสีย
จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ. 2550. **เทคโนโลยีน้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2549. **เทคโนโลยีน้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

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

สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2535. เทคโนโลยีการทำ
ผลิตภัณฑ์จากกก. กองส่งเสริมเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ.

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

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.

Abrams, L.R. 1964. **Illustrated flora of the Pacific State** : Washington, Oregon and California.
Vol III.

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

Backer, C.A. and Bakhuizen Ven Den Brink, RC. 1968. **Typhaceae Flora of Java**. Vol II.

Boonsong, K. and M. Chansiri. 2006. Efficiency of Vetiver Grass Cultivated with Floating
Platform Technique in Domestic Wastewater Treatment. **Vetiver Systems:
International Vetiver Conference ICV4**. Available Source: <http://www.vetiver.Org/ICV4pdfs/BA02.pdf>, Nov 10, 2012.

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.

Buddhawong, S. 1996. **Efficiency of *Cyperus corymbosus* and *Eleocharis dulcis* in
constructed wetland for municiple wastewater treatment**. M.S. Thesis,
Chulalongkorn University.

Boyd, C.E. 1970. Vascular aquatic plants for mineral nutrient removal from polluted waters.

Econ Bot. 2444: 94-103.

Donal, H. 1978. **Plant life in anaerobic environments.** Ann. Arbor. Science publishers, Inc., Michigan USA.

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.

Feth, J.S. 1966. **Nitrogen compounds in natural water ; A review.** J. of water resoutces research. 2 ; 42-58.

Hammer, D.A. and R.K. Bastian. 1989. Wetland Ecosystem : Natural Water Purifiers, pp.5-19.

In Hammer, D.A. 1989, **Constructed Wetland for Wastewater Treatment.** Lewis Publishers, Inc., Michigan.

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

Jenny, H. 1929. Relative of Temperature to the amount of nitrogen in soils. **Soil Sci.** 27 : 188.

Jones, Jr., J.B., B. Wolf and H.A. Mills. 1991. **Plant analysis handbook. Micro-Macro** Publishing, Inc., Geogia, USA.

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

Klomjek, P. and S. Nitorisavut. 2005. Constructed Treatment Wetland : A Study of Eight Plant Species Under Saline Conditions. **Chemosphere.** 58 (5): 585-593.

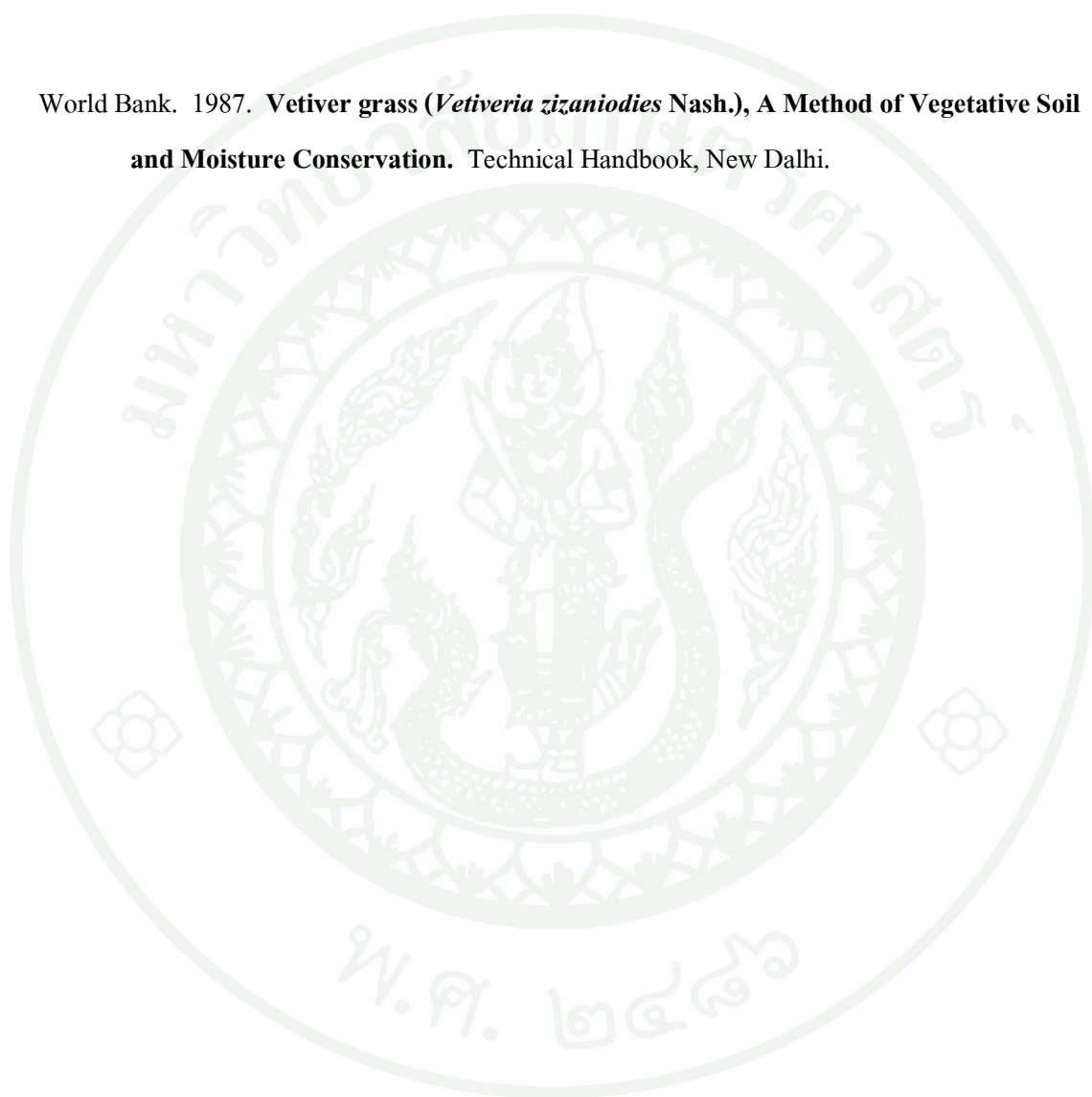
- Loyd, R. and D.W.M. Herbert. 1960. The influence carbondioxide on the toxicity of unionized ammonia to rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson. **Ann. Appl. Biol.** 48: 399-404.
- Markens, J.C. and K.M. Downing. 1975. The effect of tension of tension of dissolve oxygen on the toxicity of un-ionized 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.
- Millar, C.E., L.M. Turk and H.D. Foth. 1964. **Fundamental of soil science.** John Wiley & Sons, Inc., New York.
- 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.
- Randall, D.J. and T.K.N. Tsui. 2002. Ammonia toxicity in fish. **Marine Pollution Bulletin.** 45: 17-23.
- Southwick, C.H. 1972. **Ecology and the quality of our environment.** 2nd (ed)., Litton educational publishing, Inc., New York.
- Stowell, R.R., L.J. Golt and G. Tchobanoglous. 1981. Concepts in aquatic treatment System design. **J. Environ. Eng. Div. Proc. Am. Soc. Civil. Eng.** 1 (7): 919-940.
- Truong, P.N.V. 1992. **Salt tolerance of *Vetiveria Zizanioides* (L.) Paper presented at Vrtiver Field Workshop,** Kuala Lumpur.
- 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.

Urbance-Bercic, O. and T. Bulc. 1995. Integreated constructed wetland for small community.

Wat.Sci.Tech. 32: 41-48.

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

World Bank. 1987. **Vetiver grass (*Vetiveria zizanioides* Nash.), A Method of Vegetative Soil and Moisture Conservation.** Technical Handbook, New Dalhi.





ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของฤดูฝนในแปลงควบคุม

ลำดับจุด เก็บ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อน เข้าระบบ	0.64	0.64	0.65	0.47	0.46	0.47	0.56
บำบัด							
1	0.27	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	0.38
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 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของฤดูฝนในแปลงกกกลม

ลำดับจุด	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย	
	เก็บ	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
		ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 5
น้ำก่อน								
เข้าระบบ		0.64	0.64	0.65	0.47	0.46	0.47	0.56
บำบัด								
1		0.07	0.07	0.07	0.10	0.09	0.10	0.08
2		0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.09
3		0.09	0.09	0.10	0.08	0.07	0.07	0.08
4		0.11	0.12	0.12	0.15	0.15	0.14	0.13
5		0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.08	0.07
6		0.09	0.10	0.10	0.08	0.07	0.08	0.09
7		0.24	0.24	0.24	0.06	0.07	0.07	0.15
8		0.19	0.20	0.20	0.11	0.11	0.11	0.15
9		0.14	0.13	0.13	0.16	0.17	0.17	0.15
10		0.38	0.38	0.38	0.01	0.01	0.01	0.20
11		0.22	0.22	0.22	0.21	0.22	0.21	0.22
12		0.14	0.14	0.14	0.37	0.36	0.36	0.25
13		0.26	0.26	0.27	0.24	0.24	0.25	0.25
14		0.21	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.21
15		0.06	0.06	0.06	0.29	0.27	0.29	0.17
น้ำออก								
จากระบบ		0.21	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.21
บำบัด								

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของฤดูฝนในแปลงหญ้าแฝก
อินโดนีเซีย

ลำดับจุด เก็บ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อน เข้าระบบ	0.64	0.64	0.65	0.47	0.46	0.47	0.56
บำบัด							
1	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06
2	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04
3	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08
4	0.07	0.08	0.08	0.05	0.06	0.06	0.07
5	0.08	0.08	0.09	0.10	0.09	0.09	0.09
6	0.06	0.06	0.07	0.06	0.05	0.05	0.06
7	0.11	0.11	0.10	0.13	0.12	0.12	0.12
8	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
9	0.05	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05
10	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08
11	0.12	0.12	0.11	0.12	0.12	0.13	0.12
12	0.07	0.07	0.08	0.09	0.07	0.07	0.08
13	0.13	0.14	0.14	0.12	0.12	0.13	0.13
14	0.12	0.13	0.13	0.12	0.10	0.12	0.12
15	0.07	0.08	0.07	0.13	0.14	0.14	0.11
น้ำออก จากระบบ	0.12	0.13	0.13	0.12	0.10	0.12	0.12
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของฤดูฝนในแปลงรูปถาฮิ

ลำดับจุด	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย	
	เก็บ	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
		ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 5
น้ำก่อน								
เข้าระบบ		0.64	0.64	0.65	0.47	0.46	0.47	0.56
บำบัด								
1		0.00	0.00	0.00	0.05	0.04	0.05	0.02
2		0.00	0.00	0.00	0.07	0.06	0.06	0.03
3		0.01	0.02	0.01	0.07	0.06	0.06	0.04
4		0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01
5		0.04	0.05	0.04	0.01	0.00	0.01	0.03
6		0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
7		0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03
8		0.05	0.06	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06
9		0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
10		0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02
11		0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.02
12		0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.02
13		0.08	0.09	0.07	0.08	0.08	0.09	0.08
14		0.12	0.10	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10
15		0.12	0.13	0.10	0.12	0.12	0.13	0.12
น้ำออก								
จากระบบ		0.12	0.10	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10
บำบัด								

ตารางผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของฤดูแล้งในแปลงควบคุม

ลำดับจุด เก็บ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อน เข้าระบบ	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 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของฤดูแล้งในแปลงกกลม

ลำดับจุด	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย	
	เก็บ	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
		ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 5
น้ำก่อน								
เข้าระบบ		0.58	0.58	0.59	0.62	0.60	0.60	
บำบัด								
1		0.40	0.41	0.41	0.10	0.10	0.10	
2		0.23	0.22	0.24	0.24	0.28	0.26	
3		0.28	0.28	0.30	0.31	0.30	0.30	
4		0.27	0.28	0.27	0.30	0.32	0.32	
5		0.26	0.28	0.29	0.25	0.27	0.26	
6		0.29	0.28	0.27	0.30	0.29	0.28	
7		0.26	0.24	0.24	0.24	0.24	0.25	
8		0.28	0.29	0.27	0.26	0.27	0.27	
9		0.33	0.32	0.30	0.27	0.25	0.26	
10		0.30	0.31	0.29	0.32	0.29	0.30	
11		0.28	0.27	0.26	0.27	0.29	0.28	
12		0.30	0.32	0.32	0.33	0.32	0.30	
13		0.27	0.26	0.26	0.27	0.28	0.28	
14		0.28	0.28	0.27	0.29	0.28	0.29	
15		0.26	0.26	0.26	0.31	0.30	0.30	
น้ำออก								
จากระบบ		0.28	0.28	0.27	0.29	0.28	0.29	
บำบัด								

ตารางผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของฤดูแล้งในแปลงหญ้าแฝก
อินโดนีเซีย

ลำดับจุด	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย	
	เก็บ	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
		ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 5
น้ำก่อน								
เข้าระบบ		0.58	0.58	0.59	0.62	0.60	0.60	
บำบัด								
1		0.22	0.21	0.20	0.21	0.21	0.22	
2		0.19	0.18	0.19	0.19	0.20	0.20	
3		0.23	0.22	0.23	0.24	0.24	0.23	
4		0.25	0.24	0.24	0.22	0.22	0.21	
5		0.21	0.21	0.22	0.25	0.24	0.23	
6		0.23	0.23	0.24	0.23	0.22	0.22	
7		0.24	0.26	0.27	0.24	0.25	0.25	
8		0.26	0.27	0.27	0.25	0.25	0.24	
9		0.26	0.27	0.26	0.23	0.24	0.24	
10		0.22	0.20	0.18	0.17	0.19	0.22	
11		0.23	0.22	0.23	0.21	0.21	0.20	
12		0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.20	
13		0.20	0.20	0.19	0.16	0.18	0.19	
14		0.18	0.18	0.18	0.17	0.19	0.19	
15		0.16	0.14	0.15	0.15	0.17	0.17	
น้ำออก								
จากระบบ		0.18	0.18	0.18	0.17	0.19	0.19	
บำบัด								

ตารางผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของฤดูแล้งในแปลงรูปถาปี

ลำดับจุด	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย	
	เก็บ	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
		ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 5
น้ำก่อน								
เข้าระบบ		0.58	0.58	0.59	0.62	0.60	0.60	
บำบัด								
1		0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	
2		0.03	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	
3		0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	0.03	
4		0.06	0.04	0.04	0.04	0.07	0.06	
5		0.05	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05	
6		0.04	0.02	0.05	0.03	0.04	0.03	
7		0.09	0.10	0.11	0.06	0.06	0.06	
8		0.04	0.04	0.04	0.08	0.07	0.06	
9		0.07	0.08	0.09	0.06	0.06	0.06	
10		0.06	0.07	0.07	0.05	0.05	0.06	
11		0.09	0.09	0.07	0.09	0.08	0.08	
12		0.08	0.08	0.09	0.08	0.09	0.07	
13		0.10	0.09	0.08	0.12	0.11	0.12	
14		0.08	0.07	0.08	0.06	0.07	0.07	
15		0.08	0.08	0.09	0.09	0.08	0.09	
น้ำออก								
จากระบบ		0.08	0.07	0.08	0.06	0.07	0.07	
บำบัด								

ตารางผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนของฤดูฝนในแปลงควบคุม

ลำดับจุด เก็บ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อน เข้าระบบ	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	0.11	0.13	0.15	0.15	0.13
น้ำออก จากระบบ	0.09	0.09	0.09	0.13	0.12	0.13	0.11
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนของฤดูฝนในแปลงกกกลม

ลำดับจุด เก็บ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อน เข้าระบบ	0.03	0.04	0.03	0.06	0.06	0.06	0.05
บำบัด							
1	0.05	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06	0.06
2	0.06	0.05	0.07	0.05	0.04	0.03	0.05
3	0.07	0.06	0.05	0.08	0.08	0.08	0.07
4	0.16	0.18	0.18	0.17	0.16	0.18	0.17
5	0.15	0.16	0.17	0.14	0.16	0.15	0.16
6	0.20	0.20	0.18	0.16	0.18	0.18	0.18
7	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.13	0.13
8	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.17
9	0.14	0.14	0.15	0.12	0.11	0.11	0.13
10	0.12	0.12	0.12	0.10	0.11	0.12	0.12
11	0.06	0.07	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08
12	0.08	0.08	0.08	0.10	0.09	0.11	0.09
13	0.03	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04
14	0.04	0.03	0.05	0.07	0.04	0.06	0.05
15	0.06	0.06	0.07	0.09	0.06	0.06	0.07
น้ำออก จากระบบ	0.04	0.03	0.05	0.07	0.04	0.06	0.05
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนของฤดูฝนในแปลงหญ้าแฝก
อินโดนีเซีย

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

ตารางผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนของฤดูฝนในแปลงรูปถาวร

ลำดับจุด	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย	
	เก็บ	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
		ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 5
น้ำก่อน								
เข้าระบบ		0.03	0.04	0.03	0.06	0.06	0.06	0.05
บำบัด								
1		0.02	0.01	0.01	0.05	0.05	0.06	0.03
2		0.04	0.04	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05
3		0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.03	0.04
4		0.13	0.13	0.13	0.18	0.18	0.18	0.16
5		0.13	0.12	0.11	0.13	0.14	0.14	0.13
6		0.15	0.14	0.13	0.14	0.15	0.15	0.14
7		0.09	0.08	0.08	0.10	0.10	0.10	0.09
8		0.06	0.06	0.07	0.09	0.09	0.10	0.08
9		0.09	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09	0.08
10		0.04	0.03	0.03	0.05	0.05	0.04	0.04
11		0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01
12		0.05	0.04	0.05	0.03	0.03	0.04	0.04
13		0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
14		0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
15		0.00	0.01	0.01	0.03	0.02	0.03	0.02
น้ำออก								
จากระบบ		0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
บำบัด								

ตารางผนวกที่ 13 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนของฤดูแล้งในแปลงควบคุม

ลำดับจุด เก็บ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อน เข้าระบบ	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 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนของฤดูแล้งในแปลงกกลม

ลำดับจุด	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย	
	เก็บ ตัวอย่าง	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		ครั้งที่ 6
น้ำก่อน								
เข้าระบบ	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05	
บำบัด								
1	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	
2	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	
3	0.05	0.05	0.04	0.06	0.06	0.06	0.05	
4	0.22	0.22	0.23	0.24	0.24	0.25	0.23	
5	0.22	0.21	0.21	0.22	0.23	0.23	0.22	
6	0.21	0.22	0.23	0.23	0.23	0.21	0.22	
7	0.16	0.17	0.17	0.20	0.19	0.20	0.18	
8	0.17	0.18	0.18	0.15	0.15	0.17	0.17	
9	0.16	0.15	0.14	0.18	0.18	0.19	0.17	
10	0.09	0.08	0.07	0.08	0.09	0.07	0.08	
11	0.08	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	
12	0.08	0.09	0.10	0.09	0.08	0.07	0.09	
13	0.04	0.04	0.05	0.03	0.02	0.01	0.03	
14	0.01	0.02	0.02	0.05	0.03	0.04	0.03	
15	0.01	0.01	0.00	0.07	0.07	0.07	0.04	
น้ำออก								
จากระบบ	0.01	0.02	0.02	0.05	0.03	0.04	0.03	
บำบัด								

ตารางผนวกที่ 15 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนของฤดูแล้งในแปลงหญ้าแฝก
อินโดนีเซีย

ลำดับจุด เก็บ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อน เข้าระบบ	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05
บำบัด							
1	0.05	0.04	0.05	0.02	0.02	0.01	0.03
2	0.00	0.00	0.01	0.04	0.04	0.03	0.02
3	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
4	0.12	0.11	0.10	0.12	0.11	0.10	0.11
5	0.13	0.15	0.13	0.12	0.12	0.12	0.13
6	0.12	0.12	0.13	0.13	0.12	0.13	0.13
7	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06	0.07	0.06
8	0.05	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.05
9	0.11	0.11	0.10	0.09	0.08	0.10	0.10
10	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
11	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03
12	0.01	0.00	0.02	0.04	0.04	0.03	0.02
13	0.04	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03	0.04
14	0.02	0.02	0.01	0.04	0.03	0.03	0.03
15	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03
น้ำออก จากระบบ	0.02	0.02	0.01	0.04	0.03	0.03	0.03
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจนของฤดูแล้งในแปลงรูปถาฮิ

ลำดับจุด เก็บ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)						ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555			26 กรกฎาคม 2555			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	
น้ำก่อน เข้าระบบ	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05
บำบัด							
1	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
2	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
3	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03
4	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
5	0.35	0.35	0.36	0.36	0.37	0.36	0.36
6	0.35	0.30	0.36	0.34	0.35	0.35	0.34
7	0.09	0.10	0.10	0.11	0.10	0.08	0.10
8	0.13	0.12	0.12	0.11	0.12	0.12	0.12
9	0.08	0.09	0.09	0.12	0.12	0.12	0.10
10	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
11	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
12	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
13	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
14	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
15	0.02	0.00	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02
น้ำออก จากระบบ	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
บำบัด							

ตารางผนวกที่ 17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอ็นด้วยวิธีเจดาคาร์บอนของฤดูฝนในแปลงควบคุม

ลำดับจุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)		ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555 ครั้งที่ 1	26 กรกฎาคม 2555 ครั้งที่ 2	
น้ำก่อนเข้า ระบบบำบัด	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
น้ำออกจาก ระบบบำบัด	8.95	8.96	8.96

ตารางผนวกที่ 18 ผลการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอ็นด้วยวิธีเจดาคาร์บอนของฤดูฝนในแปลงกกลม

ลำดับจุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)		ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555 ครั้งที่ 1	26 กรกฎาคม 2555 ครั้งที่ 2	
น้ำก่อนเข้า ระบบบำบัด	17.92	17.36	17.64
1	4.20	4.22	4.21
2	4.16	4.18	4.17
3	3.93	3.95	3.94
4	4.22	4.24	4.23
5	4.26	4.28	4.27
6	4.26	4.24	4.25
7	3.81	3.83	3.82
8	4.02	4.01	4.02
9	3.69	3.64	3.67
10	3.91	3.92	3.92
11	4.09	4.06	4.08
12	3.88	3.89	3.89
13	3.72	3.74	3.73
14	3.76	3.75	3.76
15	3.79	3.78	3.79
น้ำออกจาก ระบบบำบัด	3.76	3.75	3.76

ตารางผนวกที่ 19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอ็นด้วยวิธีเจดาคาร์บอนของฤดูฝนในแปลงหญ้าแฝก
อินโดนีเซีย

ลำดับจุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)		ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555	26 กรกฎาคม 2555	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
น้ำก่อนเข้า ระบบบำบัด	17.92	17.36	17.64
1	4.02	4.18	4.10
2	3.87	3.88	3.88
3	3.96	3.94	3.95
4	4.02	4.01	4.02
5	3.82	3.83	3.83
6	3.76	3.80	3.78
7	3.35	3.36	3.36
8	3.82	3.80	3.81
9	3.48	3.49	3.49
10	4.21	4.18	4.20
11	4.18	4.19	4.19
12	3.98	4.02	4.00
13	4.12	4.14	4.13
14	4.06	4.07	4.07
15	4.03	3.98	4.01
น้ำออกจาก ระบบบำบัด	4.06	4.07	4.07

ตารางผนวกที่ 20 ผลการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอ็นด้วยวิธีเจดาคาร์บอนของฤดูฝนในแปลงรูปถั่ว

ลำดับจุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)		
	21 มิถุนายน 2555	26 กรกฎาคม 2555	ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
น้ำก่อนเข้า ระบบบำบัด	17.92	17.36	17.64
1	2.60	2.58	2.59
2	2.54	2.57	2.56
3	2.61	2.59	2.60
4	1.81	1.84	1.83
5	1.84	1.82	1.83
6	1.81	1.80	1.81
7	1.90	1.91	1.91
8	1.88	1.86	1.87
9	1.91	1.92	1.92
10	2.24	1.68	1.96
11	3.92	1.12	2.52
12	2.24	1.12	1.68
13	1.82	1.83	1.83
14	1.79	1.80	1.80
15	1.76	1.78	1.77
น้ำออกจาก ระบบบำบัด	1.79	1.80	1.80

ตารางผนวกที่ 21 ผลการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอ็นด้วยวิธีเจดาคัลของฤดูแล้งในแปลงควบคุม

ลำดับจุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)		ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555	26 กรกฎาคม 2555	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
น้ำก่อนเข้า ระบบบำบัด	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
น้ำออกจาก ระบบบำบัด	13.58	13.56	13.57

ตารางผนวกที่ 22 ผลการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอ็นด้วยวิธีเจดาคาร์บอนของฤดูแล้งในแปลงกกลม

ลำดับจุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)		ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555 ครั้งที่ 1	26 กรกฎาคม 2555 ครั้งที่ 2	
น้ำก่อนเข้า ระบบบำบัด	12.32	28.56	20.44
1	6.57	6.56	6.57
2	6.52	6.51	6.52
3	6.52	6.50	6.51
4	6.79	6.78	6.79
5	6.84	6.82	6.83
6	6.67	6.70	6.69
7	6.82	6.76	6.79
8	6.92	6.95	6.94
9	6.70	6.69	6.70
10	7.09	7.07	7.08
11	6.98	6.96	6.97
12	7.02	7.04	7.03
13	6.98	6.97	6.98
14	7.13	7.10	7.12
15	7.24	7.29	7.27
น้ำออกจาก ระบบบำบัด	7.13	7.10	7.12

ตารางผนวกที่ 23 ผลการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอ็นด้วยวิธีเจดาคาร์บอนของฤดูแล้งในแปลงหญ้าแฝก
อินโดนีเซีย

ลำดับจุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)		ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555	26 กรกฎาคม 2555	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
น้ำก่อนเข้า ระบบบำบัด	12.32	28.56	20.44
1	6.42	6.45	6.44
2	5.86	5.82	5.84
3	7.00	7.01	7.01
4	6.95	6.92	6.94
5	6.80	6.82	6.81
6	7.06	7.05	7.06
7	5.84	5.85	5.85
8	5.65	5.63	5.64
9	6.05	6.02	6.04
10	5.36	5.37	5.37
11	5.25	5.26	5.26
12	5.33	5.34	5.34
13	5.17	5.15	5.16
14	5.16	5.18	5.17
15	5.20	5.17	5.19
น้ำออกจาก ระบบบำบัด	5.16	5.18	5.17

ตารางผนวกที่ 24 ผลการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอ็นด้วยวิธีเจดาคาร์บอนของฤดูแล้งในแปลงรูปถาวร

ลำดับจุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)		ค่าเฉลี่ย
	21 มิถุนายน 2555 ครั้งที่ 1	26 กรกฎาคม 2555 ครั้งที่ 2	
น้ำก่อนเข้า ระบบบำบัด	12.32	28.56	20.44
1	5.04	5.01	5.03
2	4.23	4.25	4.24
3	4.32	4.35	4.34
4	4.32	4.35	4.34
5	4.23	4.25	4.24
6	4.31	4.23	4.27
7	4.15	4.12	4.14
8	4.24	4.23	4.24
9	4.15	4.13	4.14
10	3.92	3.91	3.92
11	4.01	4.02	4.02
12	3.92	3.90	3.91
13	3.92	3.94	3.93
14	3.82	3.81	3.82
15	3.70	3.72	3.71
น้ำออกจาก ระบบบำบัด	3.82	3.81	3.82

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวชญลักษณ์ เกิดทรัพย์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	26 กันยายน 2531
สถานที่เกิด	จังหวัดราชบุรี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรและสิ่งแวดล้อมศึกษา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-