

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในน้ำทิ้ง
จากหอพักนักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง
REMOVAL EFFICIENCY OF NITROGENS IN WASTEWATER
FROM KMITL'S DORMITORY USING
VERTICAL CONSTRUCTED WETLAND



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**REMOVAL EFFICIENCY OF NITROGENS IN WASTEWATER
FROM KMITL'S DORMITORY USING
VERTICAL CONSTRUCTED WETLAND**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
ENVIRONMENTAL RESOURCE CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2008**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวลิ่ง

ชื่อนักศึกษา นางสาวนุศรา วัฒนวิลาวัลย์
นางสาวภาวินี ไคร์นุ่นสิงห์
นางสาววนิดา ห่อคำ

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เกษีตรพิทยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเกษีตรพิทยากรสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2551

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
ผศ.พรธรรณ ศรีนาค	
ผศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน	



(ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)

ปฏิบัติหน้าที่ประธานสาขาวิชา

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในของหน่วยงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษเรื่อง ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง

นักศึกษา นางสาวนุสรรา โรจนวิลาวัลย์
นางสาวภาวินี ไคร์นุ่นสิงห์
นางสาววนิดา ห่อคำ

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2551

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลแนวดิ่ง โดยใช้พืช 2 ชนิด คือ ต้นคล้าน้ำ และต้นก้ามกุ้ง ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ ชนิดของพืช และระดับความลึกของชั้นตัวกลาง โดยใช้ระยะเวลาเก็บที่ 5 วัน จากการทดลองพบว่าระบบควบคุมมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนในรูปอินทรีย์ไนโตรเจน, แอมโมเนีย และไนเตรต ร้อยละ 60.52, 60.23 และ 10.48 ตามลำดับ ระบบที่ 2 ปลูกลงต้นก้ามกุ้งสีทองมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนในรูปอินทรีย์ไนโตรเจน, แอมโมเนีย และไนเตรต ร้อยละ 86.20, 69.54 และ 46.24 ตามลำดับ และระบบที่ 3 ปลูกลงต้นคล้าน้ำมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนในรูปอินทรีย์ไนโตรเจน, แอมโมเนีย และไนเตรต ร้อยละ 89.17, 99.78 และ 86.51 ตามลำดับ พบว่าระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนได้ดีกว่า ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้ง) และระบบควบคุมโดยระบบที่ 2 (ก้ามกุ้ง) ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดใกล้เคียงกับระบบที่ 1 (ควบคุม) เนื่องจากต้นคล้าน้ำมีรากยาว ทำให้ออกซิเจนสามารถแทรกผ่านไปในชั้นตัวกลางได้ดี การศึกษาความลึกต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน พบว่าที่ระดับความลึก 45 เซนติเมตรสามารถกำจัดแอมโมเนียและอินทรีย์ไนโตรเจนได้ดีที่สุด แต่ที่ระดับความลึกที่ 60 เซนติเมตร สามารถกำจัดไนเตรตได้ดีที่สุด

คำสำคัญ : คล้าน้ำ, ก้ามกุ้ง, อินทรีย์ไนโตรเจน, แอมโมเนีย, ไนเตรต, ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project title	Removal Efficiency of Nitrogens in Wastewater from KMITL's Dormitory using Vertical Constructed Wetland	
Student	Miss Nusara	Rojvilavan
	Miss Pawinee	Krainoonsingha
	Miss Wanida	Horkam
Degree	Bachelor of Science	
Major	Environmental Resource Chemistry	
Academic Year	2008	
Advisor	Asst.Prof. Dr Suwannee Junyapoon	
Co-Advisor	Asst.Prof. Dr Chalor Jarusuthiruk	

ABSTRACT

This special project studied removal efficiency of nitrogens in wastewater from KMITL's dormitory using vertical constructed wetland. Plants used in this study were Water canna and Parrot flower. Factors affecting the efficiency were type of plants and depth of media. The vertical constructed wetland was plug flow system with wastewater feed rate of 0.007 L/min and hydraulic retention time of 5 days. The experimental results showed that the removal efficiency of nitrogens in terms of organic nitrogen, ammonia and nitrate in control system were 60.52%, 60.23% and 10.48%, respectively. The nitrogen removal efficiency of Parrot flower system were 86.20%, 69.54% and 46.24%, respectively whilst that of Water canna system were 89.17%, 99.78% and 86.51%, respectively. It was found that the Water canna system had better nitrogen removal efficiency than Parrot flower system and control system Parrot flower system had nitrogen removal efficiency similar as control system. The results also showed that depth of media affected on the nitrogen removal efficiency. Ammonia and organic nitrogen could be highly removed at a depth of 45 cm while nitrate could be highly removed at a depth of 60 cm.

Keywords: Water canna, Parrot flower, Organic nitrogen, Ammonia , Nitrate , Vertical constructed wetlan

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่านดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุวรรณณี จรรยาพูนและผศ.ดร.ชลอ จารุสิทธิรักษ์ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ และอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิดและเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา รวมทั้งตรวจแก้โครงการพิเศษฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และผศ. พรธรรณ ศรีนาค อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือคำแนะนำ และช่วยตรวจสอบเพิ่มความสมบูรณ์ให้กับโครงการพิเศษฉบับนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ คณะเทคโนโลยีการเกษตร ภาควิชาปฐพี ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวก ในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้

ขอขอบพระคุณนายอนันต์ ชูอำไพ คุณลุงที่คอยให้ความช่วยเหลือในการช่วยสูบน้ำเสียที่ใช้ในการทำการทดลอง

ขอขอบคุณผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ หอพักนักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เอื้อเฟื้อน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง และอำนวยความสะดวกในการติดตั้งระบบ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวก ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว รวมทั้งเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจตลอดในการทำโครงการพิเศษ

นางสาวนุสรา โรจน์วิลาวัลย์

นางสาวภาวินี ไคร์นุ่นสิงห์

นางสาววนิดา ห่อคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
สัญลักษณ์และคำย่อ	ต
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 น้ำเสีย	3
2.1.1 น้ำเสียชุมชน	3
2.1.2 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	7
2.1.3 กรรมวิธีในการบำบัดน้ำเสีย	7
2.1.3.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นเตรียมการ	8
2.1.3.2 การบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง	8
2.1.3.3 การบำบัดน้ำเสียขั้นสูง	8
2.2 ระบบบึงประดิษฐ์	9
2.2.1 องค์ประกอบระบบบึงประดิษฐ์	9
2.2.1.1 วัสดุสำหรับการปลูกพืช	
และเป็นที่เกาะติดของจุลินทรีย์	9
2.2.1.2 จุลินทรีย์	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.1.3 พืชน้ำ	12
2.2.1.4 น้ำ	13
2.2.2 ประเภทของระบบบึงประดิษฐ์	13
2.2.2.1 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือดิน	13
2.2.2.2 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดิน	16
2.2.3 รูปแบบการไหลของน้ำในระบบบึงประดิษฐ์	19
2.2.3.1 การไหลเป็นช่วง	19
2.2.3.2 การเติมน้ำเสียแบบเป็นขั้น	19
2.2.3.3 การหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ	20
2.2.4 พืชในระบบบึงประดิษฐ์	21
2.2.4.1 หน้าที่ของพืชในระบบบึงประดิษฐ์	21
2.2.4.2 ปัจจัยในการพิจารณาเลือกประเภทของพืชในระบบบึงประดิษฐ์	22
2.2.5 พืชที่ใช้ในการศึกษา	22
2.2.5.1 ต้นกล้าน้ำ	22
2.2.5.2 ต้นก้ามกุ้งสีทอง	23
2.2.6 กลไกการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์	24
2.3 หลักการกำจัดไนโตรเจนในระบบบึงประดิษฐ์	24
2.3.1 การตรึงไนโตรเจน	24
2.3.2 การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนหลังการตรึง	25
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	32
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์	32
3.1.1 สารเคมี	32
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	33
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	33
3.2.1 น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา	33
3.2.2 พีชที่ใช้ในการศึกษา	34
3.2.3 การศึกษาการทำงานของระบบบึงประดิษฐ์ แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง	35
3.2.3.1 การสร้างและติดตั้งระบบ	35
3.2.3.2 การศึกษาอัตราการไหลของระบบ	36
3.2.3.3 การปรับสภาพของระบบ	36
3.2.3.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ บึงประดิษฐ์	36
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	38
4.1 ผลการศึกษาการทำงานของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหล ใต้ผิวดินแนวดิ่ง	38
4.1.1 อัตราการไหลของระบบ	38
4.1.2 อัตราการระเหย และอัตราการใช้น้ำของพีชภายใน ระบบบึงประดิษฐ์	39
4.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน	40
4.2.1 ชนิดของพีชในระบบบึงประดิษฐ์	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2.2 ระดับความลึกในระบบบึงประดิษฐ์	46
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	52
5.1 สรุปผลการวิจัย	52
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก ก วิธีการดำเนินการวิจัย	57
ภาคผนวก ข ผลการศึกษาการทำงานจากระบบบึงประดิษฐ์ แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวตั้ง	59
ภาคผนวก ค ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนจากระบบ ด้วยพืชต่างชนิดกัน	63
ภาคผนวก ง ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนจากระบบ ด้วยพืชต่างชนิดกัน	69
ภาคผนวก จ วิธีการคำนวณความเข้มข้นของไนเตรต ทีเคเอ็น แอมโมเนียและบีโอดี	79

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน	3
2.2 ปริมาณน้ำเสียจากอาคารประเภทต่างๆ	4
2.3 ลักษณะน้ำเสียชุมชน	6
3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบ และ ออกจากระบบ	37
4.1 อัตราการไหลของระบบบึงประดิษฐ์	38
4.2 อัตราการระเหย และอัตราการใช้น้ำของพืช	39
4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์ในโตรเจน แอมโมเนีย ไนเตรต และ บีโอดี ของระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลได้ผิวดินแนวตั้งด้วยพืชต่างชนิดกัน	41
4.4 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์ในโตรเจน แอมโมเนีย ไนเตรต และ บีโอดี ของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลแนวตั้งที่ระดับความลึกต่างๆ	48
4.5 การเจริญเติบโตของพืช	50

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-1 อัตราการไหลที่ได้จากการทดลองของระบบบึงประดิษฐ์ แบบน้ำไหลได้ผิวดินแนวตั้ง	59
ข-2 ช่วงเวลาที่ได้รับแสงแดด อัตราการระเหย และอัตราการใช้น้ำของพืช ในระบบที่ 1 (คววม)	59
ข-3 ช่วงเวลาที่ได้รับแสงแดด อัตราการระเหย และอัตราการใช้น้ำของพืช ในระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง)	60
ข-4 ช่วงเวลาที่ได้รับแสงแดด อัตราการระเหย และอัตราการใช้น้ำของพืช ในระบบที่ 3 (คล้าน้ำ)	61
ข-5 ระดับที่น้ำอ้อมตัวภายในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินแนวตั้ง	61
ค-1 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดในเทรตของระบบบึงประดิษฐ์ น้ำไหลแนวตั้งด้วยพืชต่างชนิดกัน	63
ค-2 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์ น้ำไหลแนวตั้งด้วยพืชต่างชนิดกัน	64
ค-3 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียของระบบบึงประดิษฐ์ น้ำไหลแนวตั้งด้วยพืชต่างชนิดกัน	65
ค-4 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์ไนโตรเจนของ ระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลแนวตั้งด้วยพืชต่างชนิดกัน	66
ค-5 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ น้ำไหลแนวตั้งด้วยพืชต่างชนิดกัน	67
ง-1 ผลของปริมาณ ไนเตรต ทีเคเอ็น แอมโมเนีย สารอินทรีย์ไนโตรเจน และบีโอดีทั้งหมดของน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษาสถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เข้าระบบบึงประดิษฐ์	69

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
<p>ง-2 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรตของระบบบึงประดิษฐ์ น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 1 (ควบคุม) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร</p>	69
<p>ง-3 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรตของระบบบึงประดิษฐ์ น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร</p>	70
<p>ง-4 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรตของระบบบึงประดิษฐ์ น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร</p>	70
<p>ง-5 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์ น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 1 (ควบคุม) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร</p>	71
<p>ง-6 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์ น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร</p>	71
<p>ง-7 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์ น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร</p>	72
<p>ง-8 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียของระบบบึงประดิษฐ์ น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 1 (ควบคุม) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร</p>	72
<p>ง-9 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียของระบบบึงประดิษฐ์ น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร</p>	73

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-10 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียของระบบบึงประดิษฐ์ น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร	73
ง-11 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์ในโตรเจนของระบบ บึงประดิษฐ์น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 1 (ควบคุม) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร	74
ง-12 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์ในโตรเจนของระบบ บึงประดิษฐ์น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร	74
ง-13 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์ในโตรเจนของระบบ บึงประดิษฐ์น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 2 (คล้าน้ำ) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร	75
ง-14 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของของระบบบึงประดิษฐ์ น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 1 (ควบคุม) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร	75
ง-15 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของของระบบบึงประดิษฐ์ น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร	76
ง-16 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของของระบบบึงประดิษฐ์ น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร	76
ง-17 ผลของลักษณะของน้ำที่เข้า และออกจากระบบบึงประดิษฐ์	77

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ชั้นตัวกลางของระบบบึงประดิษฐ์	10
2.2 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือดิน โดยใช้พีชที่รากอยู่ใต้น้ำยึดเกาะกับดิน แต่ลำต้นอยู่สูงพ้นน้ำ	14
2.3 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือดิน โดยใช้พีชที่ลอยน้ำโดยที่รากอยู่ใต้น้ำ	14
2.4 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือดิน โดยใช้ใบพีชที่ลอยอยู่และรากอยู่ใต้น้ำ ยึดเกาะกับดิน	15
2.5 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือดิน โดยใช้พีชที่มีราก ลำต้นและใบอยู่ใต้น้ำ	16
2.6 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดินตามแนวอน	17
2.7 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดินตามแนวคิง	18
2.8 รูปแบบการไหลของน้ำในระบบบึงประดิษฐ์	20
2.9 ต้นคล้าน้ำ	23
2.10 ต้นก้ามกุ้งสีทอง	23
3.1 บ่อพักน้ำเสียจากหอพักนักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	34
3.2 ภาพแสดงส่วนประกอบต่างๆ ของระบบบึงประดิษฐ์ แบบน้ำไหลใต้ดินแนวคิง	35

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
pH	ค่าความเป็นกรด ด่าง
COD	ซีโอดี
BOD	บีโอดี
TKN	ทีเคเอ็น
HRT	ระยะเวลาการกักเก็บน้ำต่อหน่วยพื้นที่
FWS	บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือดิน
SFS	บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดิน
VF	บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดินตามแนวตั้ง
HF	บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดินตามแนวนอน
DO	ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ
TDS	ปริมาณของแข็งที่ละลายเจือปนอยู่ในน้ำ
TN	ไนโตรเจนทั้งหมด
TP	ฟอสเฟตทั้งหมด
SS	สารแขวนลอย
°C	องศาเซลเซียส
ชม.	เซนติเมตร
มก./ล.	มิลลิกรัมต่อลิตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

น้ำเป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีวิต เมื่อน้ำถูกนำเอามาใช้อุปโภคและบริโภคแล้วจะถูกปล่อยทิ้งออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติในรูปของน้ำเสีย แหล่งกำเนิดน้ำเสียแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ น้ำเสียจากอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่ น้ำเสียที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมจะผ่านกรรมวิธีบำบัดตามค่ามาตรฐานก่อนจะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม และน้ำเสียจากชุมชน เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือน และอาคารประเภทต่าง ๆ เป็นต้น ปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากบ้านเรือนมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้ สิ่งเจือปนน้ำเสียชุมชนที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ส่วนใหญ่ ได้แก่ สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ โลหะหนักและสารพิษ ของแข็ง พงค์กฟอก ธาตุอาหารและไขมัน จากการทำจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำเสียจากชุมชนมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากน้ำเสียจากชุมชนส่วนใหญ่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง โดยไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสีย จึงจัดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่ง

การบำบัดน้ำเสียมีการกระบวนการต่างๆ มากมายโดยกระบวนการการบำบัดน้ำเสียชุมชนมีทั้งวิธีการบำบัดทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบงานหมุนชีวภาพ ระบบคลองวนเวียน ระบบเติมอากาศ ระบบยูเอเอสบี และระบบกรองแบบไร้อากาศ ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งเป็นระบบที่นิยมใช้ อย่างไรก็ตาม การบำบัดดังกล่าวจะต้องใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมาก และต้องมีค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้องใช้พลังงานในการดำเนินการเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งเป็นระบบที่ไม่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงและสถานที่ในการก่อสร้างมาก และไม่ต้องใช้สารเคมี และพลังงานในการบำบัดมาก จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจมากกว่า การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์เป็นวิธีการบำบัดทางชีวภาพที่อาศัยหลักการทางธรรมชาติในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้ง นิยมใช้พืชที่อาศัยอยู่ในน้ำ เพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในระบบ พืชที่นิยมใช้ ได้แก่ ต้นพุดธรักษา ต้นธูปฤาษี และต้นกก

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง ในการบำบัดน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันที่ทำการศึกษา ได้แก่ ชนิดของพืช ระดับความลึกของตัวกลางในระบบบึงประดิษฐ์ เพื่อให้ได้ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูงและมีค่าใช้จ่ายต่ำ

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดอินทรีย์ในโตรเจน แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนเตรด-ไนโตรเจน ในน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง
2. ศึกษาชนิดของพืชและระดับความลึกต่างๆของระบบที่มีผลต่อการกำจัดไนโตรเจน แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนเตรด-ไนโตรเจน ในน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. สร้างระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง (pilot scale) ที่ประกอบจากแผ่นอะคริลิกทรงสี่เหลี่ยมกว้าง 0.3 เมตร ยาว 0.6 เมตร สูง 0.8 เมตร ภายในบรรจุกรวด มีท่อเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร ตามลำดับ
2. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดในการกำจัดอินทรีย์ในโตรเจน แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนเตรด-ไนโตรเจน ในน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง โดยใช้ต้นกล้า และก้ามกุ้งสีทอง
3. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดอินทรีย์ในโตรเจน แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนเตรด-ไนโตรเจน ในน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่งที่ระดับความลึกของชั้นตัวกลางที่ 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร ตามลำดับ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง ในการบำบัดน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ได้ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ค่าใช้จ่ายไม่สูง ใช้พลังงานในด้านต่างๆน้อย และไม่เกิดภาวะกอนของเสียเหมือนระบบอื่นๆ
3. เพิ่มทัศนียภาพที่ชวนมองจากต้นไม้ที่ปลูกในระบบบึงประดิษฐ์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสีย (Wastewater)

น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ มากมาย จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์อีกต่อไปเนื่องจากมีสิ่งปนเปื้อน ได้แก่ สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ จุลินทรีย์ และสารอื่น ๆ ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถแบ่งได้ตามแหล่งกำเนิดของน้ำเสีย ดังนี้

2.1.1 น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater)

หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกภายในครัวเรือน และอาคารประเภทต่าง ๆ เป็นต้น พบว่าปริมาณความเน่าเสียของคูคลองเกิดจากน้ำเสียชุมชน ประมาณ 75 % โดยปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยจากบ้านเรือน อาคาร มีค่าประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้หรือ อาจประเมินได้จากจำนวนประชากรหรือพื้นที่อาคาร ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ (สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ, 2550)

ตารางที่ 2.1 อัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน (<http://www.pcd.go.th/>)

ภาค	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/คน-วัน)					
	2536	2540	2545	2550	2555	2560
กลาง	160-214	165-242	170-288	176-342	183-406	189-482
เหนือ	183	200	225	252	282	316
ตะวันออกเฉียงเหนือ	200-253	216-263	239-277	264-291	291-306	318-322
ใต้	171	195	204	226	249	275

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณน้ำเสียจากอาคารประเภทต่างๆ (<http://www.pcd.go.th/>)

ประเภทอาคาร	หน่วย	ลิตร/วัน-หน่วย
อาคารชุด/บ้านพัก	ยูนิต	500
โรงแรม	ห้อง	1,000
หอพัก	ห้อง	80
สถานบริการ	ห้อง	400
หมู่บ้านจัดสรร	คน	180
โรงพยาบาล	เตียง	800
ภัตตาคาร	ตารางเมตร	25
ตลาด	ตารางเมตร	70
ห้างสรรพสินค้า	ตารางเมตร	5.0
สำนักงาน	ตารางเมตร	3.0

ลักษณะน้ำเสียชุมชน

เกิดจากบ้านพักอาศัย ประกอบด้วยน้ำเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน ซึ่งมีองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้ (สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ, 2550)

1. สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว ก๋วยเตี๋ยว น้ำแกง เศษใบตอง พืชผัก ซึ้นเนื้อ เป็นต้น ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้ โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ระดับออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ลดลง เกิดสภาพเน่าเหม็นได้ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมวัดด้วยค่าบีโอดี (BOD) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสูง แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มาก และสภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย
2. สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่าง ๆ ที่อาจไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ คลอไรด์ ซัลเฟต เป็นต้น
3. โลหะหนักและสารพิษ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์และสามารถสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหาร เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น พรอท โครเมียม ทองแดง ปกติจะอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร ในเขตชุมชนอาจมีสารมลพิษนี้มาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ อู่ซ่อมรถ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. น้ำมันและสารลอยน้ำต่าง ๆ เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสง และกีดขวางการกระจายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำ นอกจากนี้ ยังทำให้เกิดสภาพไม่น่าดู
5. ของแข็ง เมื่อจมตัวสู่ก้นลำน้ำ ทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนที่ท้องน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตื้นเงินมีความขุ่นสูงมีผลกระทบต่อ การดำรงชีพของสัตว์น้ำ
6. สารก่อให้เกิดฟอง/สารซักฟอก ได้แก่ ผงซักฟอก สบู่ ฟองจะกีดกันการกระจายของออกซิเจนในอากาศสู่น้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ
7. จุลินทรีย์ น้ำเสียจากโรงฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์ หรือโรงงานอาหารกระป๋อง จะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตสามารถลดระดับของออกซิเจนละลายน้ำทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็น นอกจากนี้จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อประชาชน
8. ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เมื่อมีปริมาณสูง จะทำให้เกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วของสาหร่าย (Algae bloom) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลงอย่างมากในช่วงกลางคืน อีกทั้งยังทำให้เกิดวัชพืชน้ำซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำ
9. กลิ่น เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนหรือกลิ่นอื่น ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานทำปลาป่น โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น

ลักษณะของน้ำเสียชุมชนแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ สกปรกมาก ปานกลาง และน้อย ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารปนเปื้อนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งในประเทศไทยน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่จะจัดอยู่ในระดับน้ำเสียที่มีความสกปรกน้อยถึงปานกลาง (www.pcd.go.th)

ตารางที่ 2.3 ลักษณะน้ำเสียชุมชนทั่วไป (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น		
		น้อย	ปานกลาง	มาก
1. ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)	มก./ล.	350	720	1,200
ของแข็งละลายน้ำ (Dissolved Solids)	มก./ล.	250	500	850
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	มก./ล.	100	220	350
2. ปริมาณตะกอนหนัก (Settleble Solids)	มก./ล.	5	10	20
3. ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD)	มก./ล.	110	220	400
4. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD)	มก./ล.	250	500	1,000
5. ไนโตรเจนทั้งหมด (Total as N)	มก./ล.	20	40	85
อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic nitrogen)	มก./ล.	8	15	35
แอมโมเนีย (Free ammonia)	มก./ล.	12	25	50
6. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total as P)	มก./ล.	4	8	15
สารอินทรีย์ (Organic)	มก./ล.	1	3	5
สารอนินทรีย์ (Inorganic)	มก./ล.	32	5	10
7. คลอไรด์ (Chloride)	มก./ล.	30	50	100
8. ซัลเฟต (Sulfate)	มก./ล.	20	30	50
9. สภาพด่าง (Alkalinity as CaCO ₃)	มก./ล.	50	100	200
10. ไขมัน (Grease)	มก./ล.	50	100	150

มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร มีค่าดังต่อไปนี้

1. ความเป็นกรดและด่าง (pH) ต้องมีค่าระหว่าง 5-9
2. บีโอดี (BOD) ต้องมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. สารแขวนลอย (Suspended solids) ต้องมีค่าไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. ซัลไฟด์ (Sulfide) ต้องมีค่าไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total dissolved solids) ต้องมีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณสารละลายในน้ำใช้ตามปกติ ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร
6. ตะกอนหนัก (Settleable Solids) ต้องมีค่าไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
7. น้ำมันและไขมัน (Fat oil and grease) ต้องมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
8. ทีเคเอ็น (TKN) ต้องมีค่าไม่เกิน 35 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำทิ้ง (<http://www.pcd.go.th/>)

โดยทั่วไปกระบวนการบำบัดน้ำเสียชุมชน นิยมใช้วิธีตกตะกอนโดยใช้สารเคมี ได้แก่ การใช้สารส้ม หรือการบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) ระบบโปรยกรอง (Tricking Filter) ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor) วิธีเหล่านี้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากการใช้พลังงานในการดำเนินการสูง (เกรียงศักดิ์, 2539)

2.1.2 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater)

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการอุตสาหกรรม ตั้งแต่ขั้นตอนการล้างวัตถุดิบ กระบวนการผลิตจนถึงการทำความสะอาดโรงงาน รวมทั้งน้ำเสียที่ยังไม่ได้รับการบำบัดหรือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว แต่ยังไม่เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม องค์ประกอบของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง ประเภทและขนาดของโรงงาน ส่วนใหญ่มีค่าความสกปรกสูงกว่าน้ำเสียจากชุมชน น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลักสามารถบำบัดได้ง่าย ส่วนน้ำเสียโลหะหนัก หรือสารเคมีปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจะต้องผ่านกระบวนการการบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมีสารปนเปื้อนค่อนข้างสูง(กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545) โดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์ จึงจำเป็นต้องผ่านระบบบำบัดเบื้องต้นก่อน

2.1.3 กรรมวิธีการบำบัดน้ำเสีย (<http://www.sri.cmu.ac.th>)

การบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำที่สะอาดก่อนปล่อยทิ้งเป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ไขปัญหาแม่น้ำลำคลองเน่าเสีย โดยอาศัยกรรมวิธีต่าง ๆ เพื่อลดหรือทำลายความสกปรกที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ ได้แก่ ไขมัน น้ำมัน สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ สารพิษ รวมทั้งเชื้อโรคต่างๆ ให้หมดไปหรือให้เหลือน้อยที่สุด เมื่อปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำก็จะไม่ทำให้แหล่งน้ำนั้นเน่าเสีย ขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากน้ำเสียมีแหล่งที่มาแตกต่างกันจึงทำให้มีปริมาณและความสกปรกของน้ำเสียแตกต่างกันไปด้วย ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำเสียจำเป็นต้องเลือกวิธีการที่เหมาะสมซึ่งกรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำเสียนั้นมีหลายวิธี สามารถโดยพอจะแบ่งขั้นตอนในการบำบัดออกได้ดังนี้

2.1.3.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นเตรียมการ (Pretreatment)

เป็นการกำจัดของแข็งขนาดใหญ่ออกเสีย ก่อนที่น้ำเสียจะถูกปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อป้องกันการอุดตันในท่อน้ำเสีย และเพื่อไม่ทำความเสียหายให้แก่เครื่องสูบน้ำ การบำบัดในขั้นนี้ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง เป็นการกำจัดของแข็งขนาดใหญ่โดยใช้ตะแกรง ตะแกรงที่ใช้โดยทั่วไปมี 2 ประเภทคือ ตะแกรงหยาบและตะแกรงละเอียด การบดตัดเป็นการลดขนาดหรือปริมาตรของแข็งให้เล็กลง ถ้าสิ่งสกปรกที่ลอยมากับน้ำเสียเป็นสิ่งที่เน่าเปื่อยได้ ต้องใช้เครื่องบดตัดให้ละเอียดก่อนแยกออกด้วยการตกตะกอน การดักกรวดทราย เป็นการกำจัดกรวดทรายทำให้ตกตะกอนในรางดักกรวดทราย โดยการลดความเร็วน้ำลง การกำจัดไขมันและน้ำมัน ซึ่งไขมันและน้ำมันมักอยู่ในน้ำเสียที่มาจากครัว โรงอาหาร ห้องน้ำ บิมน้ำมัน และโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด โดยการกักน้ำเสียไว้ในบ่อดักไขมันในช่วงเวลาหนึ่ง เพื่อให้ไขมันและไขมันลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำแล้วใช้เครื่องดักหรือกวาดออกจากบ่อ

2.1.3.2 การบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง (Secondary Treatment)

เป็นการกำจัดน้ำเสียที่เป็นพวกสารอินทรีย์อยู่ในรูปสารละลายหรืออนุภาคคอลลอยด์ โดยทั่วไปมักจะเรียกการบำบัดขั้นที่สองนี้ว่า "การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีววิทยา" เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ต้องอาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลาย หรือทำลายความสกปรกในน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันนี้อาจจะต้องบำบัดถึงขั้นที่สองนี้ เพื่อให้ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่ทางราชการกำหนดไว้ การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีววิทยาแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ กระบวนการที่ใช้ ออกซิเจน เช่น ระบบบ่อเติมอากาศ ระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ เป็นต้น และ กระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจน เช่น ระบบถังกรองไร้อากาศ ระบบถังหมักตะกอน เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลาย

2.1.3.3 การบำบัดน้ำเสียขั้นสูง (Advanced Treatment)

เป็นการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในขั้นที่สองมาแล้ว เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกบางอย่างที่ยังเหลืออยู่ เช่น โลหะหนัก หรือเชื้อโรคบางชนิดก่อนจะระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ การบำบัดขั้นนี้มักไม่นิยมปฏิบัติกัน เนื่องจากมีขั้นตอนที่ยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง ยกเว้น ต้องการนำน้ำที่บำบัดแล้วกลับคืนมาใช้อีกครั้ง

2.2 ระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland System)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ คือ ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นให้คล้ายพื้นที่ชุ่มน้ำในธรรมชาติ เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียให้เป็นน้ำทิ้งที่ได้มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด โดยอาศัยกระบวนการทำงานทางธรรมชาติ ประกอบด้วย น้ำเสีย พืช ดิน หินหรือกรวด และจุลินทรีย์ ที่อยู่ในสิ่งแวดล้อม มาช่วยในการบำบัดน้ำเสีย และช่วยปรับสภาพน้ำเสียให้เป็นน้ำที่มีการปนเปื้อนน้อยลง โดยไม่ต้องใช้สารเคมี และเทคโนโลยีเครื่องจักรกลต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสีย ทำให้ลดค่าใช้จ่าย และง่ายในการควบคุมระบบ และไม่ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านการบำบัดน้ำเสียระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์สามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียหลายประเภท เช่น น้ำเสียจากชุมชน น้ำเสียจากการเกษตร และน้ำเสียจากอุตสาหกรรม เป็นต้น

2.2.1 องค์ประกอบระบบบึงประดิษฐ์

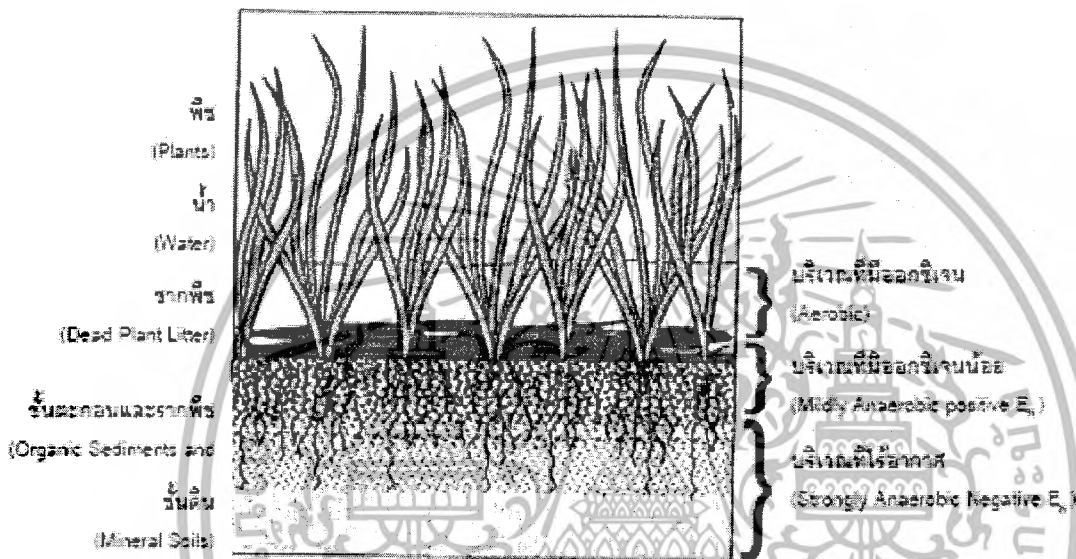
2.2.1.1. วัสดุสำหรับการปลูกพืช (substratum) และเป็นที่เกาะติดของจุลินทรีย์ ได้แก่ ดิน หิน กรวด ททราย วัสดุเหล่านี้สามารถที่จะกรองตะกอน และดูดซับสารอาหารจากน้ำเสียที่ผ่านเข้ามาในระบบได้ดี ประเภทของวัสดุที่นำมาใช้ในการปลูกพืช มีอิทธิพลต่อการออกแบบระบบให้มีประสิทธิภาพ ในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลผ่านชั้นตัวกลางนั้น วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางมีอนุภาคขนาดเล็กกว่า เช่น กรวด อัตราการซึมผ่านน้ำจะใช้ระยะเวลานาน เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุจำพวกหิน ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีมาก น้ำไหลผ่านได้ง่าย ดังนั้นการปรับค่าอัตราการไหลของน้ำเข้าระบบย่อมแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการกักเก็บน้ำในระบบเพื่อให้เกิดการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ ส่วนในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลผ่านลำต้นพืช วัสดุที่ใช้สำหรับปลูกพืชมักเป็นดินปนทราย ซึ่งมีพวกแร่ธาตุเป็นองค์ประกอบ ทำให้มีส่วนช่วยในการดูดซับหรือแลกเปลี่ยนอนุภาคของสารอาหารต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียได้คืออย่างไรก็ตาม สิ่งสำคัญของการเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างระบบ ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพการดำเนินงานอย่างต่อเนื่องในระยะยาว เนื่องจากปัญหาที่อาจเกิดขึ้นตามมาในระบบบึงประดิษฐ์ คือการอุดตันของวัสดุที่ใช้ในการปลูกพืช จากการที่วัสดุเหล่านี้ทำการกรองตะกอนที่ปนเปื้อนมาจากน้ำเสียเป็นระยะเวลานาน ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคของวัสดุนั้น ๆ มีน้อยลง การไหลของน้ำผ่านช่องว่างนี้จึงทำได้ยากขึ้นหรือเกิดการตื้นเขินของชั้นน้ำ เนื่องจากการสะสมของตะกอนที่เพิ่มขึ้น ผลที่ตามมาคือประสิทธิภาพของระบบจะลดลง ซึ่งควรที่จะมีการจัดการและดูแลรักษาระบบเป็นครั้งคราว ชั้นกรองของระบบบึงประดิษฐ์นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับแยกตามปริมาณของออกซิเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งได้แก่

- บริเวณที่มีออกซิเจน (aerobic) เป็นบริเวณผิวหน้าของระบบบึงประดิษฐ์บริเวณนี้ น้ำเสียจะสามารถแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับอากาศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- บริเวณที่มีออกซิเจนน้อย (mildly anaerobic) เป็นบริเวณที่อยู่ถัดจากชั้นที่มีออกซิเจน ชั้นนี้เป็นชั้นที่มีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างน้อย เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีซากพืชสะสมอยู่ระบบรากของพืชที่ยึดเกาะอยู่ในชั้นนี้สามารถปล่อยออกซิเจนออกมาสู่ชั้นกรองได้บางส่วน

- บริเวณที่ไร้ออกซิเจน (Strongly Anaerobic) เป็นบริเวณที่อยู่ชั้นสุดท้ายหรือล่างสุดของชั้นกรองและในบริเวณนี้จะอยู่ในสภาพไร้อากาศ



รูปที่ 2.1 ชั้นตัวกลางของระบบบึงประดิษฐ์ (www.pcd.go.th)

2.2.1.2 จุลินทรีย์ โดยเฉพาะพวกแบคทีเรีย ซึ่งมีส่วนสำคัญมากในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ รวมถึงการกำจัดและเปลี่ยนรูปของวงจรไนโตรเจน แบคทีเรียจะอาศัยสารอาหารจากน้ำเสียช่วยในการเจริญเติบโต หากทำการควบคุมระบบให้เหมาะสมแล้ว สามารถจะลดความสกปรกของน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ แบคทีเรียจะมีทั้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ และ แบคทีเรียชนิดเกาะติด ซึ่งเจริญเติบโตบนพื้นที่ผิวของพืชส่วนที่จมอยู่ใต้น้ำ (รากและลำต้น) หิน ดิน และตะกอนดิน รูปแบบการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ (คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2538) คือ

1) การย่อยสลายในสภาวะมีอากาศ

สารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนใหญ่ สามารถที่จะถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้อากาศเพื่อการหายใจร่วมกับการเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ขึ้น ดังนั้น การย่อยสลายนี้ จึงขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศที่มีอยู่ในระบบ แต่ถ้าในระบบมีปริมาณอากาศอย่างเพียงพอแล้ว กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ จะขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ที่ปนมากับน้ำเสียว่ามีมากเพียงพอสู่การใช้ออกซิเจนหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

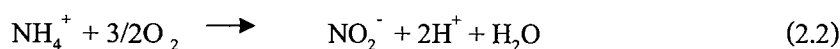
2) การย่อยสลายในสภาวะไม่มีอากาศ

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ เกิดจากการทำงานของพวกจุลินทรีย์อีกประเภทหนึ่งซึ่งไม่ต้องการอากาศ ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ข้อสังเกตของการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบนี้คือ จะก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องของกลิ่นเกิดขึ้นในระบบ อย่างไรก็ตาม อัตราการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศจะช้ากว่าการย่อยสลายแบบใช้อากาศมาก จึงมักไม่ค่อยมีปัญหา เว้นแต่ในระบบจะมีอากาศอยู่อย่างจำกัด และมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียสูง การย่อยสลายในภาวะไร้ออกซิเจน ก็จะสามารถเกิดขึ้นได้ง่าย สำหรับการย่อยสลายในโตรเจน หรือการเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจน นอกจากนี้พืชสามารถดูดซับสารประกอบไนโตรเจนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตแล้ว การย่อยสลายในโตรเจนหรือการเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนโดยกิจกรรมของแบคทีเรีย ก็สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจน โดยทั่วไปไนโตรเจนในน้ำมีหลายรูป เช่น สารอินทรีย์ในโตรเจน แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์ ในน้ำเสียชุมชนไนโตรเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบสารอินทรีย์ในโตรเจน และแอมโมเนียโดยมีกระบวนการต่างๆ ในการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน ดังนี้

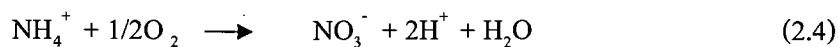
- เปลี่ยนสารอินทรีย์ในโตรเจนเป็นแอมโมเนีย (ammonification) โดยกระบวนการนี้เกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน โดยแบคทีเรียจะทำการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนจากสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจน ให้เปลี่ยนรูปของอินทรีย์ในโตรเจนเป็นอินทรีย์ในโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย ดังสมการ 2.1



- เปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรต และไนไตรท์ (nitrification) โดยกระบวนการนี้แบคทีเรียจะทำการออกซิไดส์แอมโมเนียในสภาวะที่มีออกซิเจน เพื่อเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรต และไนไตรท์ และนำพลังงานที่ได้จากกระบวนการนี้ ดึงเอาสารอนินทรีย์คาร์บอน ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์หรือคาร์บอนเนต และไบคาร์บอนเนตในน้ำเสีย เพื่อนำมาใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ ดังสมการที่ 2.2 – 2.4 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- เปลี่ยนไนเตรต เป็นก๊าซไนโตรเจน (denitrification) โดยกระบวนการนี้ จะเกิดในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน แบคทีเรียพวกที่ไม่ใช้อากาศจะอาศัยออกซิเจนจากสารประกอบไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจ ซึ่งสารไนเตรตจะถูกรีดิวส์เปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน และทำการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสีย เพื่อนำมาใช้ในการเจริญและสังเคราะห์เซลล์ ดังสมการที่ 2.5-2.6 ตามลำดับ



2.2.1.3 พืชน้ำ ซึ่งพืชที่ปลูกในระบบบึงประดิษฐ์ต้องสามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำเสีย บทบาทของพืชจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนคุณสมบัติทางเคมีของดิน และน้ำ เนื่องจากการนำเอาสารอาหารไปใช้ประโยชน์ การเจริญเติบโตของพืชยังมีผลต่ออัตราการไหลของน้ำ เนื่องจากการเจริญเติบโตของรากพืชจะลดพื้นที่ช่องว่างในดิน ทำให้ลดอัตราการไหลของน้ำ นอกจากนี้พืชยังทำหน้าที่ตัวช่วยในการเพิ่มออกซิเจนในระบบบึงประดิษฐ์ โดยการสังเคราะห์แสง และออกซิเจนจะถูกปล่อยลงสู่ดิน และพืชยังช่วยระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และก๊าซมีเทน ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนรูปของคาร์บอนและซัลเฟอร์ในดินสู่บรรยากาศ ปัจจุบันพืชส่วนใหญ่ที่นิยมปลูกในระบบบึงประดิษฐ์มักจะเป็นพืชจำพวกธูปฤๅษี อ้อ กก แผลก เพราะพืชเหล่านี้สามารถดึงออกซิเจนจากชั้นบรรยากาศได้ดี ซึ่งความสามารถในการดึงออกซิเจนจากชั้นบรรยากาศของพืชจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพืชและปริมาณออกซิเจนในดินหรือชั้นกรอง (Reed *et al.*, 1988) โดยสรุปหน้าที่หลักของพืชมีดังนี้

- รากพืชปล่อยออกซิเจนโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง การเพิ่มออกซิเจนจะช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์และไนโตรเจนในสภาวะที่มีออกซิเจน
- พืชให้พื้นที่ผิวสำหรับแบคทีเรียในการยึดเกาะ โดยแบคทีเรียจะยึดเกาะในส่วนของพืชที่จมน้ำ
- ช่วยในการกรองตะกอน
- พืชทำหน้าที่ใช้สารอาหาร โดยดูดสารอาหารผ่านราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พืชช่วยควบคุมการพังทลาย โดยรากจะช่วยยึดเกาะสร้างเสถียรภาพให้หน้าดิน ช่วยในการพังทลายของร่องน้ำ และช่วยป้องกันการอุดตันของตัวกลาง

2.2.1.4. น้ำ เป็นที่อยู่อาศัยของพืช และสัตว์ รวมทั้งแบคทีเรีย

การออกแบบระบบบึงประดิษฐ์เพื่อการบำบัดน้ำเสียจะมีขั้นตอนหลักๆดังต่อไปนี้

1. พิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่ที่จะเลือกใช้เพื่อการบำบัดน้ำเสีย
2. ศึกษาหาว่าจำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียขั้นแรกและหรือขั้นที่สองก่อนที่จะนำเข้าสู่ระบบหรือไม่
3. ทำการเลือกชนิดของพืชที่จะปลูกในบึงประดิษฐ์นี้
4. ศึกษาหาค่าออกแบบระบบ
5. ทำการศึกษาระบบควบคุมแมลงต่าง ๆ ในบึง
6. ออกแบบรายละเอียดของระบบ
7. พิจารณาถึงการติดตั้งสถานีตรวจสอบประสิทธิภาพของการบำบัด

2.2.2 ประเภทของระบบบึงประดิษฐ์

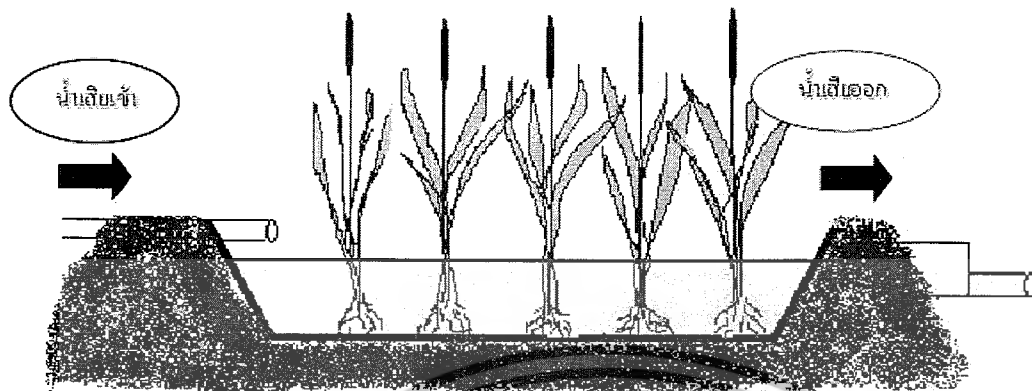
สามารถแบ่งประเภทของระบบบึงประดิษฐ์ตามลักษณะการไหลของน้ำเสียเป็น 2 ประเภท (Polprasert, 1998) คือ

2.2.2.1. ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือดิน (Free Water Surface System; FWS)

เป็นระบบบำบัดที่ใช้บ่อดินเป็นช่องทางไหลของน้ำ ดินมีการบดอัด เพื่อปรับระดับให้น้ำไหลตามแนวอนชนานกับพื้น พื้นบ่อปูด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำเสียในระหว่างที่อยู่ในระบบ ซึ่งน้ำในระบบถูกควบคุมให้ไหลในความเร็วต่ำและจะไหลบนผิวหน้าดิน จากบริเวณน้ำเข้าถึงบริเวณน้ำออก ระบบนี้จะมีการสูญเสียน้ำค่อนข้างมากเนื่องจากการระเหย พืชที่ใช้ในระบบจะให้ความร่มรื่นแก่หน้า น้ำในระบบประเภทนี้ในบริเวณที่ตื้นจะมีแพลงตอนค่อนข้างมาก และในบริเวณส่วนที่ลึกกว่าซึ่งแสงส่องผ่านน้อยจะเป็นที่อยู่ของแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน พืชที่ใช้ในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือดินมีทั้งพืชลอยน้ำหรือพืชจมน้ำ (www.Bloggang.com) โดยทั่วไปพืชจะถูกปลูกค่อนข้างหนาแน่น ความลึกของน้ำประมาณ 0.4 เมตร ระบบการบำบัดแบบนี้แตกต่างกันไปตามชนิดพืชที่ใช้ ดังต่อไปนี้

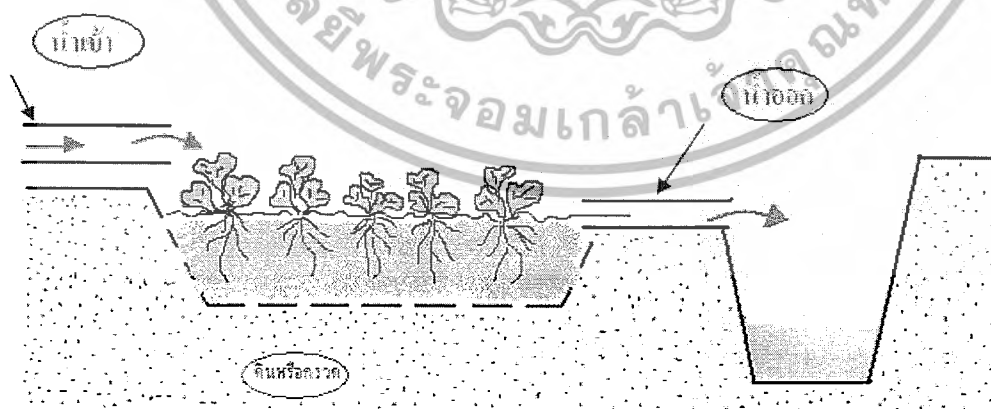
1) ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือดินโดยใช้พืชที่รากอยู่ใต้น้ำยึดเกาะกับดิน แต่ลำต้นอยู่สูงพ้นน้ำ พืชที่ใช้เป็นประเภท กก แผลก ธูปฤาษี น้ำที่ไหลบนผิวดินจะเป็นน้ำตื้น น้ำเสียที่ไหลเข้าระบบ บางส่วนจะตกตะกอนลงสู่ก้นบ่อ บางส่วนจะถูกกรองโดยพืช ระบบประเภทนี้ช่วยในการกรองและตกตะกอนของสารแขวนลอย ช่วยลดสารอินทรีย์บางส่วน และช่วยลดสารอาหารจำพวกไนโตรเจนได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.2 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือดินโดยใช้พืชที่รากอยู่ใต้น้ำยึดเกาะกับดินแต่ลำต้นอยู่สูงพ้นน้ำ

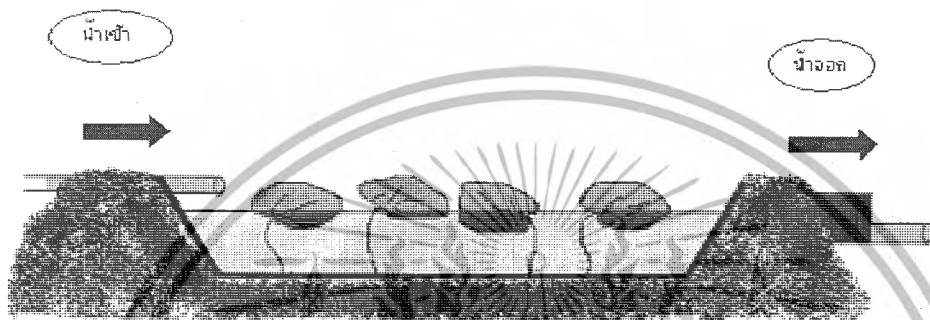
2) ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือดินโดยใช้พืชที่ลอยน้ำโดยที่รากอยู่ใต้น้ำ พืชที่ใช้ในระบบนี้ส่วนใหญ่เป็นประเภท จอก แหน ผักตบชวา ระบบนี้เหมาะแก่การบำบัดน้ำทิ้งชุมชน โดยค่าอินทรีย์สารในรูปของบีโอดีกับตะกอนแขวนลอย จะถูกกำจัด ด้วยการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย กับการตกตะกอน พืชลอยน้ำจะทำการสังเคราะห์แสง ผลิตออกซิเจน และสารอาหารจะถูกดูดซับจากน้ำผ่านราก นอกจากนี้รากยังเป็นที่ยึดเกาะให้แบคทีเรีย และยังทำหน้าที่ในการกรอง ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือดินโดยใช้พืชที่ลอยน้ำโดยที่รากอยู่ใต้น้ำ

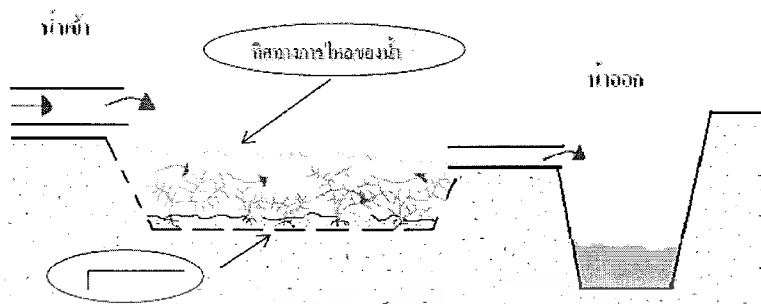
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือดินโดยใช้ใบพืชที่ลอยอยู่และรากอยู่ใต้น้ำยึดเกาะกับดิน พืชที่ใช้ในระบบนี้คือ บัว ซึ่งใบของพืชชนิดนี้ทำให้แสงแดดส่องผ่านน้ำน้อย และมีผลทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างน้ำกับบรรยากาศต่ำ ดังนั้น ระบบนี้จึงเป็นระบบที่มีออกซิเจนละลายน้ำน้อย ระบบนี้เหมาะกับการลดตะกอน ลำต้นของพืชในระบบนี้เป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรีย ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือดิน โดยใช้ใบพืชที่ลอยอยู่และรากอยู่ใต้น้ำยึดเกาะกับดิน

4) ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือดินโดยใช้พืชที่มีราก ลำต้น และใบอยู่ใต้น้ำ พืชที่ใช้ในระบบนี้คือ พืชประเภทสาหร่าย เป็นระบบที่มีออกซิเจนในช่วงบน และมีปริมาณแสงส่องผ่านมากบนผิวน้ำ น้ำที่เข้าสู่ระบบนี้ไม่ควรมีความขุ่นสูง เพื่อจะรักษาประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงของพืช ระบบนี้สามารถกำจัดแอมโมเนียได้มาก เนื่องจากประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงซึ่งช่วยในการเพิ่มออกซิเจน โดยออกซิเจนถูกใช้ในกระบวนการ Nitrification นอกจากนี้การสังเคราะห์แสงยังเป็นการใช้ CO_2 ทำให้ pH ในน้ำเพิ่มขึ้น และทำให้แอมโมเนียกลายเป็นรูป Volatile Unionized form ที่สามารถกระจายสู่บรรยากาศได้ ระบบนี้จะเป็นระบบที่มีความลึกมากกว่าระบบที่กล่าวมาข้างต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือดิน โดยใช้พืชที่มีราก ลำต้น และใบอยู่ใต้น้ำ

ข้อดี ของระบบบึงประดิษฐ์ตามน้ำไหลเหนือดิน คือ

- มีค่าก่อสร้างระบบน้อยกว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวน้ำกรองในแนวนอนและบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวน้ำกรองในแนวตั้ง
- เป็นระบบที่ดูแลรักษาง่าย
- ใช้พลังงานในการเดินระบบน้อย
- ระบบไม่ผลิตตะกอนที่ต้องบำบัดในขั้นต่อไป
- เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ต่าง ๆ ได้

ข้อเสีย ของระบบบึงประดิษฐ์ตามน้ำไหลเหนือดิน คือ

- เป็นระบบที่ต้องใช้พื้นที่มากและมีเวลาเก็บกักที่นาน เมื่อน้ำเสียที่เข้าระบบมีปริมาณไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสสูง
- มีข้อจำกัดในการกำจัดฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (fecal coliform) ซึ่งส่งผลทำให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบมักมีปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มเกินกว่าค่ามาตรฐาน (www.pcd.go.th)

2.2.2.2 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดิน (Subsurface flow system ; SFS)

เป็นระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ตัวกลางเป็นองค์ประกอบ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินหรือกรวด และใช้ชั้นดินปนทรายในการปลูกพืชน้ำ ตัวกลางทำหน้าที่ให้รากพืชยึดเกาะ เพื่อทำให้เกิดการกระจายของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ และช่วยรวบรวมน้ำทิ้งก่อนระบายออกจากระบบ นอกจากนี้ ตัวกลางยังเป็นตัวให้จุลินทรีย์ยึดเกาะและช่วยในการกรองสารแขวนลอย อัตราการไหลของน้ำในระบบนี้โดยทั่วไปจะช้า โดยความลึกของพื้นบ่อประมาณ 0.6 ถึง 1 เมตร และพื้นบ่อมีความลาดชัน ระบบนี้เป็นระบบที่แยกน้ำเสียไม่ให้ถูกรบกวนโดยแมลงหรือสัตว์ และป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดโรคปนเปื้อนติดต่อสู่คนได้ ระบบนี้แบ่งได้เป็น 2 ประเภท (Brix, 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

1) ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดินตามแนวนอน (Horizontal Subsurface Flow System ; HF) ระบบนี้ น้ำเสียจะถูกปล่อยจากท่ออย่างช้า ๆ ตามแนวนอน ผ่านชั้นหิน จนกระทั่งถึงทางน้ำออกจากระบบ ในระหว่างการไหล น้ำเสียจะสัมผัสทั้งบริเวณที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน ซึ่งบริเวณที่มีออกซิเจนเป็นบริเวณที่มีรากพืช ดังนั้นเมื่อน้ำเสียไหลผ่านชั้นกรวด ตะกอน แหวนลอย และตะกอนจมตัว ถูกกำจัดโดยวิธีทางกายภาพ โดยการปล่อยให้ตกตะกอน และโดยวิธีการกรองสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์จะถูกกำจัด โดยการย่อยสลายของแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน แบคทีเรียเหล่านี้จะเกาะติดอยู่ตามบริเวณรากพืชและชั้นกรวด ออกซิเจนในระบบได้มาจากบรรยากาศ และจากการปล่อยทางรากพืชจากระบวนการสังเคราะห์แสง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำค่อนข้างต่ำทำให้มีข้อจำกัดในการกำจัดแอมโมเนีย แต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดและรองรับปริมาณสารอินทรีย์ และในเทรคได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดินตามแนวนอน (U.S.EPA, 2000(a))

ข้อดี ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดินตามแนวนอน กล่าวคือ

- เป็นระบบที่ดูแลรักษาง่าย
- ใช้พลังงานในการเดินระบบน้อย
- ไม่ผลิตตะกอนที่ต้องบำบัดในขั้นต่อไป
- สามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้มากกว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรวดอย่างอิสระและมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงกว่า

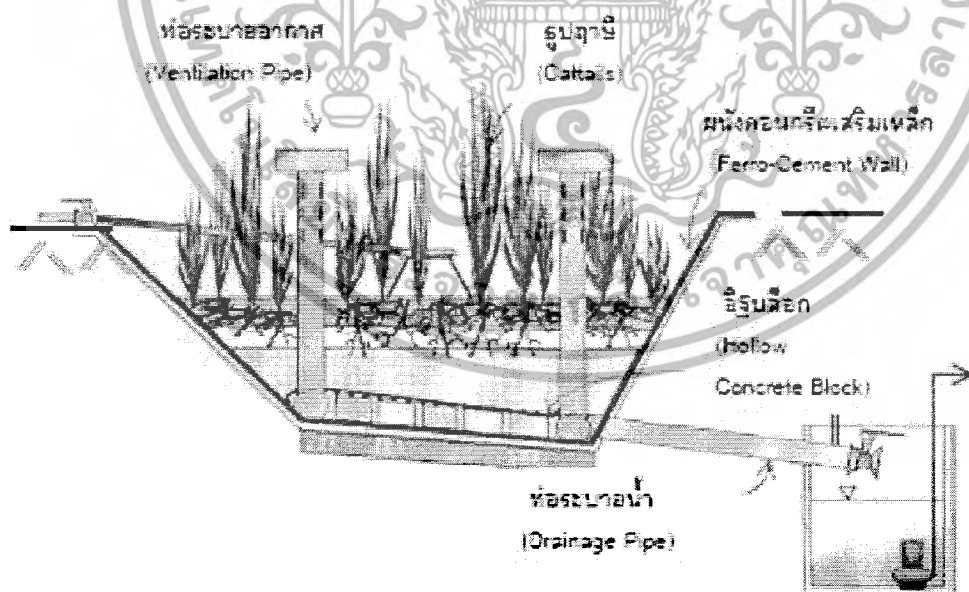
ข้อเสีย ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดินตามแนวนอน คือ

- เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงและยุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีค่าก่อสร้างที่สูงกว่าบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ เพราะต้องคำนึงถึงชั้นกรองและระบบท่อที่จะใช้ภายในระบบ
- มีข้อจำกัดในการบำบัดไนโตรเจน เพราะกระบวนการไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นได้ยาก ถ้าบางพื้นที่ในระบบมีสภาพไร้ออกซิเจน ดังนั้นถ้าน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูง จึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มเวลาในการเก็บกัก ซึ่งจะส่งผลให้ความต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างระบบเพิ่มมากขึ้น

2) ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดินตามแนวตั้ง (Vertical Subsurface Flow System ; VF) ระบบนี้ประกอบด้วยชั้นกรวดและปูทับด้วยทราย ซึ่งน้ำเสียจะถูกปล่อยในปริมาณที่มากกว่าท่วมพื้นผิว น้ำเสียน้อย ๆ ไหลในแนวตั้ง ลงสู่พื้นของระบบบึงประดิษฐ์ และที่ก้นระบบบึงประดิษฐ์จะเป็นที่กักเก็บน้ำ การปล่อยให้น้ำไหลตามแนวตั้งเป็นการเติมออกซิเจนไปสู่พื้นของระบบบึงประดิษฐ์ ในช่วงน้ำแห้ง อากาศจะเข้าไปแทรกในรูพรุนของดิน และเมื่อทำการสูบน้ำเข้า อากาศจะถูกผลักดันออกจากรูพรุนของตัวกลาง ทำให้น้ำเสียที่ถูกปล่อยเข้าระบบ ได้รับปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับระบบอีกทางหนึ่ง นอกจากที่ออกซิเจนจะได้จากการแพร่และจากการสังเคราะห์แสงของพืชเท่านั้น ระบบนี้ไม่เหมาะในการลดตะกอน แต่ใช้ได้ดีในการลดลงของแอมโมเนีย แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดินตามแนวตั้ง (U.S.EPA , 2000(b))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดี ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ดินตามแนวคิ่ง คือ

- เป็นระบบควบคุมดูแลและบำรุงรักษาง่าย ต้องการพื้นที่น้อย (Volker *et al.*, 2001)
- มีเสถียรภาพในกรณีที่มีความแปรปรวนของสภาวะแวดล้อม
- เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่าก่อให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพขึ้นได้
- มีประสิทธิภาพในการบำบัดสิ่งปฏิกูลได้ดีกว่าการใช้ลานตากตะกอน โดยทั่วไป และมีความถี่ในการตกเอาชั้นตะกอนออกจากระบบจะน้อยกว่าการใช้ลานตากตะกอน
- น้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นกรองจะสามารถทำปฏิกิริยากับจุลินทรีย์ในชั้นกรอง และทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียในส่วนที่เป็นของเหลวได้ดีอีกด้วย

ข้อเสีย ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ดินตามแนวคิ่ง คือ

- ปัญหาการเหี่ยวและร่วงโรยของพืชในระยะเริ่มต้นของการเดินระบบ ในกรณีที่ใช้ระบบในการบำบัดสิ่งปฏิกูลที่มีความเข้มข้นสูง (Volker *et al.*, 2001)

2.2.3 รูปแบบการไหลของน้ำในระบบบึงประดิษฐ์ (ประกายธรรม , 2550)

ระบบบึงประดิษฐ์สามารถออกแบบให้ใช้กับการไหลแบบใดแบบหนึ่ง หรือหลายแบบได้แก่ การไหลเป็นช่วง (Plug Flow), การเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบแบบขั้น (Step Feed) หรือการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ (Recirculation)

2.2.3.1 การไหลเป็นช่วง (Plug Flow) (รูปที่ 2.8 ก) ปัจจุบันใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน การไหลแบบนี้ นิยมใช้ระบบบึงประดิษฐ์ขนาดเล็กและมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ไม่มากนัก

1) ข้อดีของการไหลเป็นช่วง คือ มีค่าก่อสร้างต่ำ ใช้พลังงานน้อย และต้องการการควบคุมดูแลรักษาค่อนข้างต่ำ

2) ข้อจำกัดของการไหลเป็นช่วง คือ ไม่เหมาะที่จะใช้กับระบบบึงประดิษฐ์ที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงและมีค่าความยาวต่อความกว้าง มากกว่า 10:1

2.2.3.2 การเติมน้ำเสียแบบเป็นขั้น (Step Feed) (รูปที่ 2.8 ข) จะมีผลในการกำจัดของแข็งได้ดี เมื่อเป็นระบบไหลตามแนวคิ่ง และรับน้ำออกบริเวณด้านล่างของบ่อ การเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบแบบเป็นขั้นนี้สามารถทำควบคู่ไปกับการสูบน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับเข้าสู่ระบบ(Recirculation) การเติมน้ำเสียแบบนี้นิยมใช้กับระบบบึงประดิษฐ์ที่มีความยาวต่อความกว้างมากกว่า 10:1

1) ข้อดีของการไหลแบบเป็นขั้น คือ น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีการกระจายอย่างทั่วถึงบนระบบบึงประดิษฐ์และมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าการไหลเป็นช่วง

2) ข้อจำกัดของการไหลแบบเป็นขั้น คือ รูปแบบการไหลแบบนี้ต้องการงบประมาณในการก่อสร้างค่อนข้างสูง เพราะต้องมีการติดตั้งระบบท่อ ระบบควบคุมการจ่ายน้ำมากกว่าการไหลเป็นช่วง (Plug Flow)

2.2.3.3 การหมุนเวียนนำกลับเข้าสู่ระบบ (Recirculation) (รูปที่ 2.8 ค) กำลังได้รับความสนใจและมีแนวโน้มที่จะมีการลงทุนก่อสร้างมากขึ้น เป็นระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับเข้าสู่ระบบใหม่ ซึ่งจะช่วยให้จางปริมาณสารอินทรีย์และของแข็งแขวนลอยที่เข้ามาในระบบ และเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด

1) ข้อดีของการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ คือ สามารถช่วยลดปัญหาเรื่องกลิ่น ช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และช่วยให้ระบบมีระยะเวลาที่เก็บน้ำมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้เปิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน (Steiner and Freeman, 1989)

2) ข้อจำกัดของการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ คือ มีค่าใช้จ่ายสูงในการก่อสร้างและการดูแลรักษาระบบ ตลอดจนต้องควบคุมปริมาณน้ำที่ต้องสูบกลับ เพื่อควบคุมปริมาณและระยะเวลาพักน้ำในระบบ



รูปที่ 2.8รูปแบบการไหลของน้ำในระบบบึงประดิษฐ์

2.2.4 พืชในระบบบึงประดิษฐ์

พืชที่ปลูกในระบบ จะมีหน้าที่สนับสนุนให้เกิดการถ่ายเทก๊าซออกซิเจนจากอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่น้ำเสีย และยังทำหน้าที่สนับสนุนให้ก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น ก๊าซมีเทน (Methane) จากการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic) สามารถระบายออกจากระบบได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้โดยการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช (<http://www.tumcivil.com/engfanatic>)

2.2.4.1 หน้าที่ของพืชในระบบบึงประดิษฐ์ มีหน้าที่หลักในการลำเลียงออกซิเจนระบบราก พืชในบึงประดิษฐ์จะเจริญเติบโตอยู่ในชั้นดินหรือแทรกตัวเข้าไปในชั้นกรองที่ระดับต่ำกว่าพื้นผิวประมาณ 50-150 เซนติเมตร โดยออกซิเจนจากบรรยากาศจะถ่ายเทเข้าสู่พืชทางใบลงไปยังระบบราก ทำให้สามารถลำเลียงออกซิเจนไปยังตอนล่างของระบบได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งหน้าที่ทั่ว ๆ ไปของพืชในระบบบึงประดิษฐ์สามารถสรุปได้ดังนี้

1) การแพร่กระจายของออกซิเจน พืชน้ำจะปล่อยออกซิเจนจากรากออกสู่บริเวณรอบๆ ลำต้นใต้ดิน โดยอาศัยหลักการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง ไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นออกซิเจนต่ำ (รูปที่ 2.9) ซึ่งการซึมของออกซิเจนออกจากปลายรากทำให้เกิดการออกซิไดซ์ซึ่งจะช่วยลดความเป็นพิษของสารพิษต่างๆ ได้ นอกจากนี้ ระบบรากของพืชบางชนิดยังสามารถปล่อยสารปฏิชีวนะซึ่งสามารถทำลายเชื้อโรคบางอย่างในน้ำเสีย หรือปล่อยสารบางอย่างที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชชนิดอื่นได้ (ศุวศา, 2544)

2) เป็นที่ยึดเกาะสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยส่วนลำต้น และใบของพืชที่อยู่ใต้น้ำจะเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ เนื้อเยื่อของพืชจะมีสาหร่ายที่สังเคราะห์แสงได้เกาะอยู่อย่างหนาแน่น รวมทั้งจุลินทรีย์และโปรโตซัว เช่นเดียวกับรากและลำต้นใต้ดิน นอกจากนี้ ยังมีไบโอฟิล์มที่เกาะกับซากพืชที่ตายแล้ว ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในระบบบึงประดิษฐ์ (ศุวศา, 2544)

3) พืชในระบบจะช่วยลดความเร็วของกระแส น้ำ เพิ่มเวลาในการสัมผัสระหว่างน้ำเสียและพืชให้มากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยทำให้เกิดการตกตะกอนได้ดีขึ้นอีกด้วย

4) การดูดซับสารอาหาร พืชจะดูดสารอาหารจำนวนมากทางราก ลำต้นที่อยู่ใต้น้ำและ โพล์พื้นน้ำก็สามารถดูดสารอาหารได้เช่นเดียวกัน ซึ่งสารอาหารที่ถูกดูดซับเหล่านี้จะถูกกำจัดต่อไปโดยการเก็บเกี่ยวพืชออกจากระบบ พืชสามารถกำจัดไนโตรเจนประมาณ 200-2500 กก./เฮกเตอร์.ปี หรือประมาณ 0.02-0.25 กก./ตร.ม.-ปี (Brix and Schierup, 1989) อย่างไรก็ตาม พบว่าปริมาณสารอาหารที่ถูกกำจัดจากการเก็บเกี่ยวมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับภาระของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ แต่ถักระบบไม่มีการเก็บเกี่ยวพืชออก สารอาหารในพืชจะถูกปลดปล่อยออกมาสู่ระบบอีกครั้งด้วยกระบวนการย่อยสลาย (Decomposition) (ศุวศา, 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) พืชที่อยู่ในระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการควบคุมการไหลของน้ำในแนวตั้ง จะมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องทำให้มีการแผ่กระจายของราก และไรโซมไปทั่วชั้นกรองและทำให้เกิดช่องว่างขึ้นซึ่งจะช่วยป้องกันการอุดตันของชั้นกรองได้อีกทางหนึ่ง

2.2.4.2 ปัจจัยในการพิจารณาเลือกประเภทของพืชในระบบบึงประดิษฐ์

หน้าที่หลักของพืชในระบบบึงประดิษฐ์ คือ การควบคุมการไหลของน้ำเสีย เป็นที่ยึดเกาะและเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายในระบบ ดังนั้นการเลือกพืชที่ใช้ในระบบจึงเป็นสิ่งสำคัญ พืชที่ปลูกในระบบบึงประดิษฐ์ควรเป็นพืชที่สามารถพบได้ในท้องถิ่นเพราะพืชจะคุ้นเคยกับสภาพภูมิอากาศ พืชที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอาหารสูงๆ เช่น สิ่งปฏิกูล หรือน้ำเสียจากเกษตร คือ ธูปฤาษี กก อ้อ เพราะพืชเหล่านี้สามารถดึงออกซิเจนจากชั้นบรรยากาศได้ดีกล่าวคือ ประมาณ 5-45 กรัมออกซิเจน/ตารางเมตร-วัน ซึ่งความสามารถในการดึงออกซิเจนจากชั้นบรรยากาศของพืชจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพืชและปริมาณออกซิเจนในดินหรือชั้นกรองด้วย (Reed *et.al.* 1998)

คุณสมบัติที่สำคัญสำหรับการพิจารณาเลือกพืชที่จะใช้ในระบบ

1. ทนทานต่อทั้งสภาพอากาศ น้ำ ดิน
2. ทนทานต่อสภาวะน้ำสกปรกได้
3. มีเส้นใยมาก
4. เจริญเติบโตรวดเร็ว ขึ้นเป็นกลุ่ม

พืชนอกจากทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์เกาะแล้วยังเป็นการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศสู่ราก และช่วยให้แสงแดดกระทบผิวน้ำน้อยลง เป็นการป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่ายทางอ้อม และยังทำให้เกิดสภาพอันสวยงามได้ เช่น บัว พุทธรักษา นอกจากนี้ อาจเลี้ยงปลาที่มีความทนทานสูง แต่ไม่ควรเลือกปลาชนิดที่คุ้ยเขี่ยพื้นดิน เพราะความขุ่นของน้ำจะเป็นอุปสรรคต่อกลไกการทำงานในหลายๆด้านของระบบ

2.2.5 พืชที่ใช้ในการศึกษา (www. agkc.lib.ku.ac.th)

2.2.4.1 ต้นคัล้าน้ำ ชื่อวิทยาศาสตร์ (*Thalia geniculata* L.)

กล้าชอน้ำ (รูปที่ 2.10) ไม้ริมน้ำ ลำต้นเป็นเหง้า เป็นพืชล้มลุกมีอายุหลายปี มีขนาดความสูงประมาณ 2 เมตร สีม่วงอ่อน ออกดอกตลอดปี และมีอัตราการเจริญเติบโตรวดเร็ว สามารถเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่ชุ่มชื้น นิยมนำมาปลูกเป็นไม้ประดับริมสวนน้ำ



รูปที่ 2.9 คันท้าน้ำ (*Thalia geniculata* L.)

2.2.4.2 ต้นก้ามกุ้งสีทอง ชื่อวิทยาศาสตร์(*Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* Aristeg. Musoid 'Golden Torch')(รูปที่ 2.10) *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* Aristeg. Musoid 'Golden Torch' (ชมรมรักษา) ไม้พุ่มขนาดเล็ก ลำต้นสีเขียวพอมเขียว แตกกอ เป็นพุ่มแน่น มีขนาดสูงประมาณ 2 เมตร ดอกสีเหลือง ออกดอกตลอดปี มีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินบริเวณที่มีความชุ่มชื้นสูง ทนน้ำท่วมขัง และปลูกเพื่อตัดดอกเนื่องจากมีอายุการปักแจกันนาน



รูปที่ 2.10 ต้นก้ามกุ้งสีทอง (*Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* Aristeg. Musoid 'Golden Torch')

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 กลไกการนำบัคน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์

การกำจัดมลสารในบึงประดิษฐ์ประกอบด้วยกระบวนการทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ที่ทำงานสัมพันธ์กัน กลไกหลักที่พบได้แก่ การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Biochemical conversions) การตกตะกอน (Settling) และการกรอง (Filtration) การสะสมในดิน (Accretion) การระเหย (Volatilization) การดูดซับ (Adsorption) การระเหยทางใบ (Evapotranspiration) และการนำไปใช้โดยพืช (Plant uptake) การกำจัดสารปนเปื้อนต้องอาศัยกลไกต่าง ๆ ประกอบกัน

2.3 หลักการกำจัดไนโตรเจนในระบบบึงประดิษฐ์

2.3.1 การตรึงไนโตรเจน สิ่งมีชีวิตที่ตรึงไนโตรเจนได้มี 2 กลุ่มใหญ่ๆคือ

1. จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนได้อย่างเป็นอิสระ ในดินจะเป็นกิจกรรมของจุลินทรีย์ เช่น *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* และ *Actinomycete* บางตัว โดยทั่วไปอัตราการตรึงไนโตรเจนจะต่ำ ยกเว้นเมื่อเข้าไปอยู่ในไรโซสเฟียร์และได้รับสารอินทรีย์จากรากพืช อัตราการตรึงไนโตรเจนจะสูงขึ้น ในน้ำจะเป็นกิจกรรมของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น *Anabaena*, *Nostoc*, *Aphanizomenon*, *Gloeotrichia*, *Calothrix* (Atlas and Bartha, 1998.)

2. จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนเมื่ออยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่น มีหลายกลุ่มได้แก่ (Elken, 1992)

- แบคทีเรีย *Frankia* เป็นการเกิดปมระหว่าง *Actinorrhiza* (*Frankia*) กับพืชใบเลี้ยงคู่ที่ไม่ใช่พืชตระกูลถั่ว ส่วนใหญ่เป็นไม้พุ่มหรือไม้ยืนต้น พบในเขตอบอุ่น แต่ก็มีหลายชนิดพบในเขตร้อนด้วย เช่น *Purshia tridentata* ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจในแอฟริกา หรือสนประติพัทธ์และสนทะเล (*Casuarina*) ที่ปลูกได้ในประเทศไทย *Frankia* เป็นแบคทีเรียที่พบในปมของพืชที่ไม่ใช่พืชตระกูลถั่ว เป็นสกุลที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับ *Actinomycete* แบ่งได้เป็นกลุ่มที่สร้างสปอร์แรงเฉียบภายในปม ซึ่งเจริญได้ช้า ตรึงไนโตรเจนได้น้อย คัดแยกให้บริสุทธิ์ได้ยาก กับกลุ่มที่ไม่สร้างสปอร์แรงเฉียบที่เจริญได้เร็วกว่า

- สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่อยู่ร่วมกับพืช ที่สำคัญคือ *Anabaena* ที่อยู่ร่วมกับแหวนแดงและ *Nostoc* ซึ่งอยู่ร่วมกับปรอง และไลเคน อย่างไรก็ตาม สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีแหล่งอาศัยที่หลากหลายกว่าระบบการตรึงไนโตรเจนอื่นๆ และที่น่าสังเกตคือในขณะที่ไรโซเบียมและ *Frankia* อยู่ร่วมกับพืชชั้นสูง แต่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะอยู่ร่วมกับพืชที่มีวิวัฒนาการต่ำกว่า เช่น ไลเคน ลิเวอร์เวิร์ต เฟิน จิม โนสปีร์ม เป็นต้น

- ไรโซเบียมที่อยู่ในปมของพืชตระกูลถั่ว เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพมากเมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ

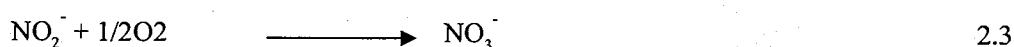
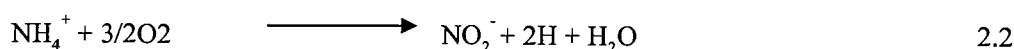
2.3.2 การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนหลังการตรึง

ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดอะมิโน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของโปรตีนทุกชนิดในสิ่งมีชีวิต พืชใช้ไนโตรเจนได้ใน 2 รูป คือแอมโมเนียม (ammonium หรือ NH_4^+) และไนเตรต (nitrate หรือ NO_3^-) และแม้ว่าในบรรยากาศจะประกอบด้วยไนโตรเจนถึง 80% แต่อยู่ในรูปก๊าซไนโตรเจน (N_2) ซึ่งพืชไม่สามารถนำมาใช้ได้ โดยไนโตรเจนสามารถเข้าสู่วัฏจักรไนโตรเจนของระบบนิเวศได้ 2 ทางคือ (Atlas, 1998)

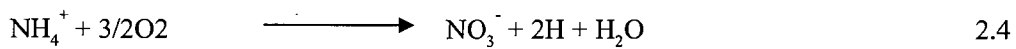
1. ผ่นชะล้างไนโตรเจนกลายเป็นแอมโมเนียมและไนเตรตไหลลงสู่ดิน และพืชใช้เป็นธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโตโดยปฏิกิริยาแอสซิมิลേഷัน (Assimilation)

2. การตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixation) แบคทีเรียบางชนิดเท่านั้นที่สามารถใช้ก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศเปลี่ยนเป็นไนโตรเจนในรูปที่พืชสามารถนำมาใช้ได้ แบคทีเรียเหล่านี้มีทั้งที่อยู่ในดินและอยู่ในสิ่งมีชีวิต เช่น ไรโซเบียมในปมรากถั่ว และแบคทีเรียในเฟินน้ำพวกแหวนแดง (Azolla) นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียสีเขียวแกมน้ำเงินในน้ำบางชนิด ซึ่งในปัจจุบันการผลิตปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้ในเกษตรกรรมก็เป็นแหล่งไนโตรเจนสำคัญในการเติมไนโตรเจนสู่ระบบนิเวศ ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารสำคัญที่พืชใช้ในโครงสร้างและเมแทบอลิซึม สัตว์กินพืชและผู้บริโภคลำดับถัดมาได้ใช้ไนโตรเจนจากพืชเป็นแหล่งสร้างโปรตีนและสารพันธุกรรม เมื่อพืชและสัตว์ตายลง ผู้ย่อยสลายและแบคทีเรียสามารถย่อยสลายไนโตรเจนในสิ่งมีชีวิตให้กลับเป็นแอมโมเนียม ซึ่งพืชสามารถนำมาใช้ได้ผ่านกระบวนการที่เรียกว่าแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification)

การบำบัดสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำทิ้ง การกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเกิดจากกระบวนการหลักที่เรียกว่า ไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน สามารถทำได้โดยใช้วิธีการทางชีวภาพด้วยกระบวนการแอมมิโนฟิเคชัน (Ammonification) ซึ่งอาศัยการทำงานของแบคทีเรีย ฟังไจ และแอททิมัยซีทิส เปลี่ยนรูปสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนไปอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้คือแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และแอมโมเนียอิสระ ดังนั้น ต้องการการกำจัดแอมโมเนียโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) แสดงดังสมการที่ (2.2-2.4) โดยกลุ่มแบคทีเรียไนตริฟายอิง (Nitrifying bacteria) จะออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ และไนเตรตตามลำดับ โดยอยู่ในสภาวะที่มีการเติมออกซิเจน (Aerobic)

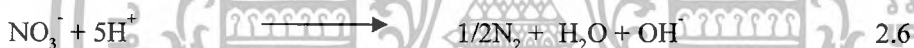


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ปัจจัยควบคุมกระบวนการไนตริฟิเคชัน คือ อุณหภูมิ พีเอช ความเป็นต่างของน้ำ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความหนาแน่นของจุลินทรีย์ ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดและออกซิเจนละลายน้ำ (Vymazal, 1998) โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 25 – 40 องศาเซลเซียส ช่วงพีเอชที่เหมาะสมคือ 6.8 – 7.5 และต้องการออกซิเจนในน้ำ 4.3 มิลลิกรัมต่อ 1 มิลลิกรัมของการเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดเป็นไนเตรตไนโตรเจนทั้งหมด

กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) โดยการทำงานของกลุ่มแบคทีเรียดีไนตริฟายอิง (Denitrifying bacteria) ไนเตรตที่เกิดจะถูกลดรูปให้เป็นก๊าซไนโตรเจน โดยอยู่สภาวะแอนอกซิก (Anoxic) ดังแสดงในสมการที่ (2.5-2.6) ซึ่งถือว่าเป็นการบำบัดธาตุอาหารไนโตรเจนอย่างสมบูรณ์แบบ (Tanmer, 2004)



การกำจัดไนโตรเจนทั้ง 2 กระบวนการเกิดขึ้นในระบบที่มีออกซิเจนร่วมกับไม่มีออกซิเจน เช่น ดินที่มีน้ำท่วมขัง

แอมโมเนียฟิเคชัน (Ammonification) เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนจากไนโตรเจนในรูปของสารประกอบอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์โดยแบคทีเรีย และใช้พลังงานที่ได้จากการเกิดแอมโมเนียฟิเคชันมาใช้ในการเจริญเติบโต ดังสมการ 2.7



อัตราการเกิดกระบวนการนี้ จะลดลงตามปริมาณออกซิเจนและขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 40-60 องศาเซลเซียส และพีเอชที่เหมาะสมคือ 6.5 – 8.5

การนำไปใช้โดยพืชเป็นการเปลี่ยน ไนโตรเจนทั้งหมดในรูปแอมโมเนียและไนเตรตไปเป็นสารอินทรีย์ในเซลล์ของพืช อัตราการนำไปใช้ถูกกำจัดโดยอัตราการเจริญเติบโตของพืชและความเข้มข้นของสารอาหาร ในเนื้อเยื่อพืช เมื่อพืชตายไนโตรเจนทั้งหมดจะถูกปล่อยกลับสู่ระบบ ดังนั้น จึงควรมีการเก็บเกี่ยวพืชออกจากระบบเป็นระยะ ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดซับเป็นการกำจัดแอมโมเนียไอออน ซึ่งมีประจุบวกโดยดูดซับกับประจุลบของซากพืช สารอินทรีย์ที่ตกตะกอนและตัวกลาง แต่เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียไอออนไม่ลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการถูกดูดซับ (Vymazal, 1998) ซึ่งแอมโมเนียไอออนที่ถูกดูดซับจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรตต่อไป

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ัชชชาย และคณะ (2549) เพื่อศึกษาความเหมาะสมของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบอนาม็อกสำหรับลดความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสีย โดยเน้นการศึกษาในประเด็นความเหมาะสมในการดำเนินการกำจัดไนโตรเจนและซีโอดีในกระบวนการเดียวกันในถังบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศแบบเอเอสปีอาร์ที่สามารถผลิตก๊าซมีเทน การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน การทดลองเบื้องต้นดำเนินการทดลองในถังปฏิกรณ์แบบเทโดยใช้ serum bottle เป็นถังปฏิกรณ์น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์สูตร Vanderbilt มีการเติมไนโตรเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอนและกรดอะซิกติกเป็นแหล่งคาร์บอน สำหรับการทดลองขั้นที่สองทดลองในถังปฏิกรณ์แบบเอเอสปีอาร์ที่มีขนาดปริมาตร 24 ลิตร ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ 20,000 มิลลิกรัมวีเอสเอสต่อลิตร น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์จากไอโซมิล ผลการศึกษาเบื้องต้นใน serum bottle แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนซีโอดี: ไนโตรเจน 150:1 มีความเหมาะสมในการเริ่มเดินระบบ โดยสามารถกำจัดไนโตรเจน แอมโมเนียและซีโอดี ได้ร้อยละ 99, 60 และ 50 ตามลำดับ ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยังไม่สูงนัก สำหรับการศึกษาในถังปฏิกรณ์เอเอสปีอาร์พบว่าที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจน 0.027, 0.039 และ 0.053 กรัม แอมโมเนียไนโตรเจน/ลิตร-วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้มากกว่าร้อยละ 50 และสูงสุดร้อยละ 70 ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจน 0.053 กรัม แอมโมเนียไนโตรเจน/ลิตร-วัน และสามารถบำบัดไนโตรเจนได้มากกว่าร้อยละ 99 ในทุกภาระบรรทุกสารอินทรีย์ นอกจากนี้ ระบบเอเอสปีอาร์สามารถบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 80

บิสณิ (2548) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสีย บริษัท แปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด โดยทำการศึกษาดังภาระบรรทุกอินทรีย์เข้าระบบที่เหมาะสม และศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการ Completed Nitrification and Denitrification โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 น้ำเข้าระบบจากบ่อหมัก 2 อัตราการไหลของน้ำเข้าระบบเท่ากับ 29 มิลลิลิตร/นาที HRT เท่ากับ 9.52 วัน ชุดการทดลองที่ 2 น้ำเข้าระบบจากบ่อหมัก 2 อัตราการไหลของน้ำเข้าระบบ 3 เท่าของบ่อจริง เท่ากับ 78 มิลลิลิตร/นาที HRT เท่ากับ 3.16 วัน ชุดการทดลองที่ 3 น้ำเข้าระบบจากระบบ DAF อัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของน้ำเข้าระบบเท่ากับ 29 มิลลิลิตร/นาฬิกา HRT เท่ากับ 9.52 วัน ชุดการทดลองที่ 4 น้ำเข้าระบบจากระบบ DAF อัตราการไหลของน้ำเข้าระบบ 3 เท่าของบ่อจริง เท่ากับ 78 มิลลิลิตร/นาฬิกา HRT เท่ากับ 3.16 วัน โดยสร้างแบบจำลองระบบจากระบบบำบัดน้ำเสียจริงของบริษัท แปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด เพื่อกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียของบริษัท ที่มีค่าซีโอดีเข้าระบบที่แตกต่างกันในแต่ละชุดการทดลอง

กัญญา (2545) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียมูลสุกร โดยระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลใต้ผิวดินในแนวตั้งโดยปลูกด้วยต้นกกฝรั่ง อยู่เหนือถังกรองทรายที่มีการไหลในแนวนอน ทำให้ระบบนี้มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในฟาร์ม ซึ่งมีพื้นที่จำกัด การทดลองนี้ใช้แบบจำลองระดับห้องปฏิบัติการขนาดกว้าง 1.2 เมตร. ยาว 1.2 เมตร. และสูง 1.2 เมตร. โดยสูบน้ำเสียเข้า ระบบแบบครั้งคราวคือ ทำงาน 4 ชั่วโมง และหยุด 4 ชั่วโมง สลับกันไปที่อัตราการไหลของน้ำ 4.5 ลิตรต่อชั่วโมง โดยแปรเปลี่ยนอัตราการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าระบบที่ 0, 50, 100 และ 200% เพื่อหาอัตราการหมุนเวียนที่ทำให้มีการกำจัดไนโตรเจนได้สูงสุด ผลการศึกษาพบว่า เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าระบบสามารถลดปริมาณ ไนโตรเจนทั้งหมดได้ดีขึ้น มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดจาก 314.6 ลดลงเหลือ 21.9 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับประสิทธิภาพการกำจัด 93.0% ที่ อัตราการหมุนเวียนน้ำ 100% และภาวะบรรทุกทางชลศาสตร์ 7.5 เซนติเมตรต่อวัน ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นอย่างชัดเจนในส่วนบนที่เป็นการไหลในแนวตั้ง โดยมีปริมาณ ออกซิไดซ์ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 0.8 เป็น 81.7 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถกำจัด ซีโอดีจาก 2,008.0 เหลือ 51.1 มิลลิกรัมต่อลิตรคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด 97.5% และกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจาก 313.8 เหลือ 7.8 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด 97.5% ในส่วนล่างที่เป็นถังกรองทรายที่มีการไหลในแนวนอน สามารถลดค่าซีโอดีได้เพิ่มขึ้น และเกิดปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันได้อย่างน่าพอใจ โดยสามารถกำจัดออกซิไดซ์ไนโตรเจนจาก 81.7 ลดลงเหลือ 16.1 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด 80.3% พืชมีอัตราการสะสมไนโตรเจน 0.378 กรัมไนโตรเจน/(เมตร²/วัน) โดยมีน้ำหนักแห้งของพืชที่เพิ่มขึ้น 18.35 ต้น/เฮกเตอร์ ตลอดการทดลอง 85 วัน

ศุภลักษณ์ อรรณพ (2548) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองน้ำและระบบบึงประดิษฐ์ในการลดค่า BOD, Chromium, Sulfide ในน้ำเสียบริเวณจุด S2 ของ ONSHORE WORKSHOP ทำให้น้ำเสียของโรงงานมีความใสขึ้นและลดค่าโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำ จากผลการศึกษาพบว่า การที่น้ำเสียมักกลิ่นเหม็น มีสีดำและมีค่าโครเมียมในน้ำสูง เกิดจากการปล่อยน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลาหมอน้ำ การรั่วไหลของน้ำทิ้งจากการล้างชิ้นงานลงท่อระบายน้ำและน้ำเสียในถังคักไขมัน จากสาเหตุดังกล่าวจึงได้มีการบำบัดน้ำเสียโดยเกิดการหมุนเวียนผ่านระบบกรองน้ำระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บึงประดิษฐ์มีการปลูกธูปฤาษี ภายหลังจากติดตั้งระบบเป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่าน้ำเสียมีความใสขึ้น และจากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในโรงงานและด้านนอกโรงงาน ผลการวิเคราะห์น้ำพบว่าน้ำมีค่า BOD เท่ากับ 15.7 มก/ล ซึ่งมาตรฐานกฎหมายสิ่งแวดล้อมกำหนดไว้ที่ 20 มก/ล ถือว่าอยู่ในมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด ไม่พบค่าโครเมียมในน้ำ และค่า Sulfide เท่ากับ 4.44 มก/ล ซึ่งยังคงสูงอยู่ และค่า Sulfide ของน้ำภายนอกเท่ากับ 4.55 และ 5.11 มก/ล ค่า Sulfide ที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับสูง แต่เมื่อเทียบกันพบว่า Sulfide ภายในโรงงานมีค่าต่ำกว่าภายนอกโรงงาน

อำพร และนิทานถ (2545) การศึกษาการใช้วัชพืชไหลพันน้ำ และวัชพืชลอยน้ำปรับปรุงคุณภาพน้ำ ได้แก่ การใช้วัชพืชไหลพันน้ำปรับปรุงคุณภาพน้ำ วัชพืชที่ใช้ศึกษาได้แก่ ต้นอ้อ (*Phragmites communis*) เอื้องเพ็ดม้า (*Polygonum tomentosum*) แห้วทรงกระเทียม (*Eleocharis dulcis*) บอน (*Colocasia esculenta*) และพุทธรักษา (*Canna siamensis*) เป็นต้น จากผลการศึกษาผลของน้ำเสียต่อการเจริญเติบโตของวัชพืชไหลพันน้ำ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียนานต่างกัน 7, 15, 30, 45, 60 และ 90 วันตามลำดับ พบว่าวัชพืชแต่ละชนิดมีการเจริญเติบโตแตกต่างกันทางสถิติทั้งความสูง พื้นที่ใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) พบว่า ที่ระยะเวลาเก็บกักนาน 7 วัน อ้อมีประสิทธิภาพในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้ดีที่สุดที่ระยะเวลาเก็บกักนาน 15, 30, 45 และ 60 วัน แห้วทรงกระเทียมมีประสิทธิภาพในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้ดีที่สุดและที่ 90 วัน พุทธรักษา มีประสิทธิภาพในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้ดีที่สุด ประสิทธิภาพในการบำบัดตะกอนละลายน้ำ (TDS) และสารแขวนลอย (SS) ที่ระยะเวลาเก็บกักนาน 7, 15, 30, 45 และ 60 วัน พบว่าวัชพืชทั้ง 5 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ที่ระยะเวลาเก็บกักนาน 90 วัน เอื้องเพ็ดม้า และแห้วทรงกระเทียม มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย (NH_3) และไนโตรเจน (TKN) พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกักนาน 7 วัน บอนจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย (NH_3) ได้ดีที่สุดในน้ำ อ้อมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจน (TKN) ได้ดีที่สุดในระยะเวลาเก็บกักนาน 15 วัน แห้วทรงกระเทียม มีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย (NH_3) และไนโตรเจน (TKN) ได้ดีที่สุดในระยะเวลาเก็บกักนาน 30, 45 และ 60 วัน แห้วทรงกระเทียม มีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียได้ดี ส่วนพุทธรักษา มีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจน (TKN) ได้ดีที่สุดในระยะเวลาเก็บกักนาน 90 วัน พบว่าพุทธรักษา มีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย (NH_3) และไนโตรเจน (TKN) ได้ดีที่สุดในระยะเวลาเก็บกักนาน 7, 15, 30, 45, 60 และ 90 วัน พุทธรักษา มีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัส (TP) ที่ระยะเวลาเก็บกักนาน 7, 15, 30, 45, 60 และ 90 วัน พุทธรักษา มีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสได้ดีที่สุด การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำไนโตรเจน (TKN) และฟอสฟอรัสขึ้นไปใช้ในต้นพืช (Uptake) ที่ระยะเวลาเก็บกักนาน 7, 15, 30, 45, 60 และ 90 วัน พบว่า พุทธรักษาและเอื้องเพ็ดม้า มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด จากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดจึงได้คัดเลือกวัชพืช 3 ชนิด ได้แก่ เอื้องเพ็ดม้า หัวทรงกระเทียม พุทธรักษานำมาศึกษาในระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) ที่ระยะเวลาเก็บกัก (Retention time) 5 วัน พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด บีโอดี (BOD) และไนโตรเจน (TKN) วัชพืชทั้งหมดบำบัดได้ดีที่สุดไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัส (TP) เอื้องเพ็ดม้ามีประสิทธิภาพดีที่สุด

สุวศา (2544) ได้ใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบผสมผสาน (Combined Constructed Wetland) ที่ประกอบด้วยแบบที่มีการไหลของน้ำใต้ผิวดินในแนวตั้งร่วมกับแบบที่มีการไหลของน้ำใต้ผิวดินในแนวราบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการกำจัดไนโตรเจนได้ดี คือ การเกิดไนตริฟิเคชันในแปลงที่มีการไหลของน้ำใต้ผิวดินในแนวตั้งและเกิดดีไนตริฟิเคชันในแปลงที่มีการไหลของน้ำใต้ผิวดินในแนวราบ นอกจากนี้ ได้มีการเปรียบเทียบพืชที่ใช้ 2 ชนิดคือ ฐูปฤายี และกก สามเหลี่ยม รวมทั้งการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของระบบในการนำไปใช้กับสภาพจริง และเพื่อที่สามารถนำระบบนี้ไปใช้กับน้ำเสียที่มีไนโตรเจนสูงอื่น ๆ ได้ด้วย ในการศึกษาได้ใช้แบบจำลองเป็นถังคอนกรีตเสริมเหล็ก มีขนาดเท่ากับ 2 เมตร * 2 เมตร โดยมี 2 แบบ แบบแรกเป็นแบบที่มีการไหลของน้ำใต้ผิวดินในแนวตั้งอยู่บนส่วนที่มีการไหลของน้ำใต้ผิวดินในแนวราบ ดังนั้นจึงมีพืชปลูกเฉพาะส่วนบนและส่วนล่างมีสภาพเป็นถึงกรองทราย มี 2 ชุด ปลูกด้วยฐูปฤายีและกกสามเหลี่ยม แบบที่สองเป็นสองถังต่อแบบอนุกรมทั้งสองถังบรรจุกรวดและทรายหยาบและปลูกพืช ถังแรกปล่อยน้ำเสียเข้าโดยมีการไหลของน้ำแบบใต้ผิวดินในแนวราบ ส่วนถังที่สองมีการไหลของน้ำใต้ผิวดินในแนวตั้ง โดยสร้างเป็น 2 ชุด ชุดแรกปลูกฐูปฤายีทั้งสองถังและชุดที่สองปลูกกกสามเหลี่ยมเพื่อเปรียบเทียบเช่นกัน กำหนดให้มีการภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่ 3, 6 และ 12 เซนติเมตรต่อวัน และมีการหมุนเวียนของน้ำในอัตราส่วน 1:1 เหมือนกันทั้ง 2 แบบ จากผลการทดลองพบว่ากลไกหลักของการกำจัดไนโตรเจนคือปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน และพบว่าการเกิดไนตริฟิเคชันได้ดีในส่วนที่มีการไหลของน้ำในแนวตั้งและมีการเกิดดีไนตริฟิเคชันได้ดีในส่วนที่มีการไหลของน้ำในแนวราบ และทั้งสองระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน (TN) ได้ใกล้เคียงกัน โดยประสิทธิภาพสูงสุดเฉลี่ยจะเกิดที่ภาระบรรทุกของชลศาสตร์ที่ต่ำสุด คือ 3 เซนติเมตรต่อวัน (76-82 เปอร์เซ็นต์) และกำจัด TKN ได้ 85-98 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่า COD, BOD, SS, FC และ TP สามารถกำจัดได้ 93-99 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการสะสมไนโตรเจนของพืชพบว่าฐูปฤายีสามารถสะสมไนโตรเจนได้ดีกว่ากกสามเหลี่ยม และการสะสมไนโตรเจนจะมากที่ใบ ต้น และราก ตามลำดับ พบว่าการกำจัดไนโตรเจนโดยการนำไปใช้ของพืชมีสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับกลไกอื่น เช่น การเปลี่ยนเป็นก๊าซแอมโมเนียและสะสมในเซลล์จุลินทรีย์หรือโดยปฏิกิริยาไนตริ/ดีไนตริฟิเคชัน โดยในระบบแรก มีการสะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมและกอกสามเหลี่ยมสูงสุดคือ 3 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระบบที่สองมีการสะสมไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมและกอกสามเหลี่ยมคือ 4 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อัตราการระบรทุกทางชลศาสตร์ 6 เซนติเมตรต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้งสองระบบพบว่าระบบแรก มีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าระบบที่สอง เล็กน้อย และระบบแบบแรก ยังสามารถสร้างได้ในพื้นที่จำกัด แต่การดูแลรักษาอาจจะยุ่งยากกว่าเนื่องจากเป็นสองถังซ้อนกัน

จารุณี และจุไรรัตน์ (2543) ศึกษาความสามารถในการบำบัดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ด้วยระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands) แบบการไหลในแนวตั้ง และการไหลผ่านชั้นทรายกรองในแนวนอนตามลำดับ โดยใช้ถังจำลองขนาด กว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร โดยให้ส่วนของการไหลในแนวตั้ง อยู่ด้านบนความหนาของชั้นทรายเท่ากับ 80 เซนติเมตร ส่วนของการไหลในแนวนอนมีความหนาของชั้นทรายเท่ากับ 30 เซนติเมตร พืชที่ใช้ในการทดลองคือ กกธัญญา โดยเปรียบเทียบระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำและไม่มีการหมุนเวียนน้ำ ใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรของศูนย์พัฒนาและวิจัยการเกษตรแม่เหียะ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผลการทดลองพบว่าความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของระบบเมื่อมีการทดลองแบบหมุนเวียนน้ำและไม่มีการหมุนเวียนน้ำ มีค่าใกล้เคียงกัน คือ ระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำที่อัตราการไหล 75 มิลลิลิตรต่อนาที และระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำจากจุดปล่อยที่ 2 อีก 50% รวมเป็นอัตราการไหล 112.5 มิลลิลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพทั้งหมดของระบบในการบำบัดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย เท่ากับ 99.99% ทั้งสองการทดลอง, ประสิทธิภาพการบำบัด COD เท่ากับ 96.8%, 98.55% ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสเท่ากับ 79.9%, 96.33% ตามลำดับ บำบัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 97.2%, 98.66% ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงความเป็นด่างลดลงเท่ากับ 693 มิลลิกรัมต่อลิตร, 626 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนเท่ากับ 98.2%

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

1. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท J.T.Baker Co. Ltd.
3. โซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
4. โซเดียมเมตาบอเรต ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
5. สารละลายโซเดียมไนเตรด NaNO_3 เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
6. สารละลายโซเดียมอาร์เซไนต์ (NaAsO_2) เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
7. โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
8. สารละลายแอนไฮดรัสโพแทสเซียม (KNO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
9. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
10. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
11. สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต (NH_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
12. สารละลายบอริก (H_3BO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
13. สารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
14. สารละลายบลูซึน – กรดซัลฟานิลิก เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
15. สารละลาย Methyl red indicator เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
16. สารละลาย Methylene blue เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
17. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
18. สารละลายโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

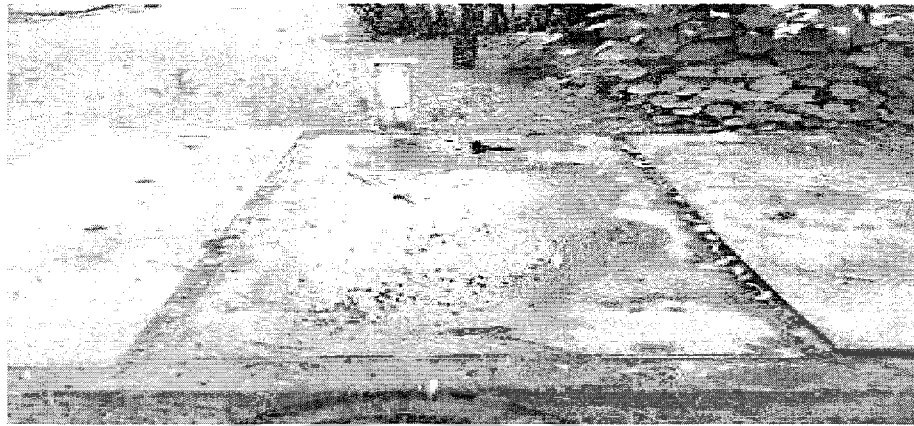
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถังทรงสี่เหลี่ยมขนาดจุ 126 ลิตร ขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร สูง 80 เซนติเมตร
2. ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.45 เซนติเมตร (4 หุน)
3. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter) บริษัท Denver Instrument รุ่น 215 ประเทศอังกฤษ
4. เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity) บริษัท Wissenschaftlich Technische Werkstätten GMBH ประเทศเยอรมัน
5. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ UV-Vis รุ่น Helios α (double beam) บริษัท Thermo Electron Corporation
6. เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO meter) บริษัท Jenway รุ่น 9200 ประเทศอังกฤษ
7. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Single pan balance) บริษัท Denver Instrument Company รุ่น TC-254 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
8. ชุดเครื่องกลั่น (Distillation Unit) ยี่ห้อ Gerhard รุ่น VAP 30
9. เครื่องย่อยสลาย (Digestion Unit) ยี่ห้อ Gerhard รุ่น SMA20A
10. ตู้ดูดควัน (Fume hood)
11. เครื่องอ่งน้ำ

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2.1 น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา

น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา คือ น้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ได้จากการซักผ้า ล้างจาน อาบน้ำ และอื่นๆ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บ่อพักน้ำเสียจากหอพักนักศึกษา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.2.2 พืชที่ใช้ในการศึกษา

งานวิจัยนี้ใช้ต้นคล้าน้ำ (*Thalia geniculata* L.) และต้นก้ามกุ้งสีทอง (*Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* Aristeg. Musoid 'Golden Torch') ในระบบบึงประดิษฐ์ เนื่องจากต้นคล้าน้ำมีสายพันธุ์ใกล้เคียงกับต้นพุทธรักษา (www.Bloggang.com) ซึ่งเป็นพืชที่นิยมใช้ในระบบบึงประดิษฐ์ และต้นคล้าน้ำมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนได้ดี (ประกายธรรม, 2550) นอกจากนี้ ต้นคล้าน้ำและต้นก้ามกุ้งสีทองนิยมใช้ในการจัดสวนเพื่อความสวยงาม ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

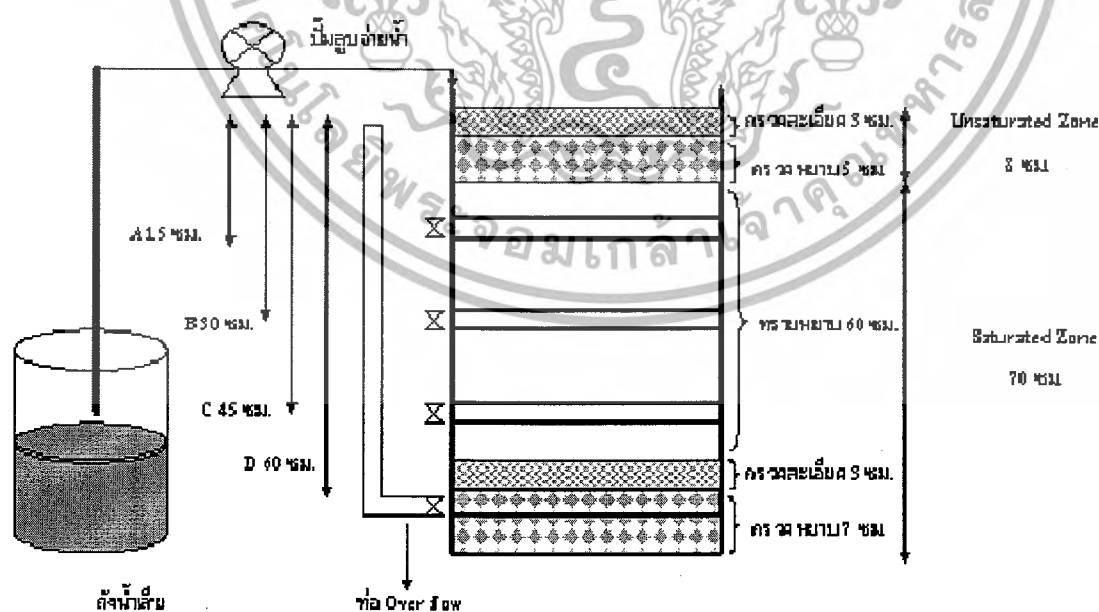
3.2.3 การศึกษาการทำงานของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง

3.2.3.1 การสร้างและติดตั้งระบบ

1) ระบบทำจากแผ่นอะคริลิกขนาดกว้าง 0.30 เมตร ยาว 0.60 เมตร ความจุน้ำเท่ากับ 126 ลิตร จำนวน 3 ถัง ในแต่ละถังประกอบด้วยท่อทางน้ำออกที่มีวาล์วปิด-เปิด สูง 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร จากด้านบนระบบ ตามลำดับ ภายในถังประกอบด้วยท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.45 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ต่อเข้ากับท่อทางน้ำออกที่ระดับต่างๆ ในแนวนอนเพื่อระบายน้ำ โดยเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ระยะห่าง 1 เซนติเมตร ตลอดความยาวท่อ ซึ่งรูที่เจาะนี้อยู่ด้านล่าง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตัน ดังรูปที่ 3.2

2) บรรจุกรวดหยาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สูง 7 เซนติเมตร จากนั้นบรรจุกรวดละเอียดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 มิลลิเมตร สูง 3 เซนติเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้ทรายอุดตันทางน้ำออก แล้วรองด้วยแผ่นตาข่ายพลาสติกขนาดรู 1 x 1 มิลลิเมตร จากนั้นบรรจุทรายหยาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 – 1.0 มิลลิเมตร สูง 60 เซนติเมตร และชั้นบนสุดบรรจุกรวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 มิลลิเมตร สูง 5 เซนติเมตร และกรวดละเอียดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 มิลลิเมตร สูง 3 เซนติเมตร เพื่อกรองเศษวัสดุที่มีขนาดใหญ่

3) เติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบทางด้านบน โดยใช้ปั๊มสูบน้ำจากถังจ่ายน้ำเสียรวม และทำการรวบรวมน้ำที่ออกจากระบบผ่านทางท่อที่ระดับต่างๆ



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.2. การศึกษาอัตราการไหลของระบบ

การทดลองใช้ค่าความพรุนของตัวกลางที่ได้จากการทดลองของประกายธรรม (2550) ที่ 42% และระยะเวลาพักเก็บ 5 วัน ซึ่งเป็นเวลาพักเก็บโดยทั่วไปของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ ผิวดินแนวตั้ง (Kootatep *et al*, 2002)

1) เติมน้ำเข้าในระบบที่ 1 (ควบคุม), 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) และ 3 (คล้าน้ำ) ที่อัตราการไหล 0.007 ลิตรต่อนาที

2) ทำการวัดอัตราการไหลของน้ำที่เข้าระบบ โดยที่มีการเติมน้ำเสียที่อัตราดังกล่าวเป็นเวลา 25 นาที ทุก 12 ชั่วโมง

3.2.3.3 การปรับสภาพของระบบ

ในการเริ่มต้นเดินระบบต้องทำการปรับสภาพระบบเพื่อสร้างฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) และทำให้พืชคุ้นเคยกับน้ำเสียที่ป้อนให้แก่ระบบ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) ปลูกต้นคล้าน้ำ และต้นก้ามกุ้งสีทองลงในระบบบึงประดิษฐ์ แบ่งพืชแต่ละชนิดออกเป็น 4 กอ เลือกให้แต่ละกอมีความยาวราก และความสูงลำต้นใกล้เคียงกัน โดยรากเริ่มต้นยาวประมาณ 20 เซนติเมตร และลำต้นสูงประมาณ 90-96 เซนติเมตร ปลูกในระบบให้มีการกระจายตัวเท่าๆกัน ในการศึกษาประกอบด้วย 3 ระบบ ดังนี้

1) ระบบที่ 1 ปลูกต้นคล้าน้ำ (*Thalia geniculata* L.)

2) ระบบที่ 2 ปลูกต้นก้ามกุ้งสีทอง (*Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* Aristeg. Musoid 'Golden Torch')

3) ระบบที่ 3 ชุดควบคุม ไม่มีการปลูกต้นไม้อื่น ปลูกต้นก้ามกุ้งสีทอง (*Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* Aristeg. Musoid 'Golden Torch')

2) ป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ โดยควบคุมระยะเวลาพักเก็บของแต่ละระบบที่ 5 วัน (ประกายธรรม, 2550) เป็นเวลาอย่างน้อย 1 เดือน เพื่อสร้างฟิล์มชีวภาพและปรับสภาพพืชให้คุ้นเคยกับน้ำเสีย

3.2.3.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการทำงานของระบบบึงประดิษฐ์ มีขั้นตอนในการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1) เริ่มเดินระบบ โดยควบคุมระยะเวลาพักเก็บของระบบ เท่ากับ 5 วัน (ประกายธรรม, 2550) ด้วยอัตราการไหลที่ได้จากการคำนวณจากความพรุนของตัวกลางและปริมาตรช่องว่างในระบบ ซึ่งจ่ายน้ำเข้าในระบบ 2 รอบ ต่อวัน (ทุก ๆ 12 ชั่วโมง) โดยตั้งเวลาอัตโนมัติ

2) เก็บตัวอย่างน้ำทุกวัน วันละ 1 ครั้ง คือช่วงเวลา 17.30 น. โดยการเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้าระบบและออกจากระบบจุด (D) และจะต้องปล่อยปริมาตรน้ำที่ค้างท่อ 100 มิลลิลิตร ออกก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสมอ วิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ บีโอดี อินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเตรต-ไนโตรเจน อุณหภูมิ พีเอช เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน ดังแสดงไว้ดังตารางที่ 3.1

3) เก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก จุดความสูง 15 เซนติเมตร, 30 เซนติเมตร, 45 เซนติเมตร และ 60 เซนติเมตร เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดในแต่ละระดับความลึก โดยจะต้องปล่อยปริมาตรน้ำที่ค้างท่อ 100 มิลลิลิตร ออกก่อนเสมอ

4) บันทึกช่วงเวลาที่ได้รับแสงแดดเพื่อบ่งชี้ช่วงเวลาที่พืชได้รับแสงแดดในแต่ละวัน

5) บันทึกอัตราการใช้น้ำของระบบ โดยการวัดปริมาตรน้ำที่ออกจากระบบที่ระดับความสูง 60 เซนติเมตร (จุด D) 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เพื่อศึกษาอัตราการระเหย และอัตราการใช้น้ำของพืชภายในระบบ

6) บันทึกระดับที่ระบบอิมตัวด้วยน้ำ โดยวัดความสูงของน้ำภายในระบบบริเวณท่อน้ำออก (over flow) ทุกวัน

7) บันทึกการเจริญเติบโตของพืชในระบบ โดยจดบันทึกความสูงของลำต้น จำนวนหน่อ และดอก ก่อนและหลังเสร็จสิ้นสภาวะการดำเนินงาน เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการเจริญเติบโตของพืช

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำที่ก่อนเข้าระบบ และออกจากระบบ (APHA, AWWA and WEF, 1995)

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	ตัวอย่างน้ำวิเคราะห์
ทีเคเอ็น	Kjeldahl Digestion	น้ำเข้าระบบ - น้ำออกระบบ
แอมโมเนีย -ไนโตรเจน	การกลั่น	น้ำเข้าระบบ - น้ำออกระบบ
ไนเตรต-ไนโตรเจน	Brucine Method	น้ำเข้าระบบ - น้ำออกระบบ
อุณหภูมิ	Thermometer	น้ำเข้าระบบ - น้ำออกระบบ
ค่าความเป็นกรด - ด่าง	pH Meter	น้ำเข้าระบบ - น้ำออกระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน ในน้ำทิ้งจากหอพัก นักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังของต้นคล้าน้ำ และต้นก้ามกุ้งสีทอง โดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวตั้ง ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ชนิดของพืช และระดับความลึกต่างๆ ของระบบบึงประดิษฐ์

4.1 ผลการทดลองการทำงานของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวตั้ง

4.1.1 อัตราการไหลของระบบ

การทดลองนี้ใช้ระบบบึงประดิษฐ์จำลองเดียวกับการทดลองของประกายธรรม (2550) และใช้ค่าความพรุนของตัวกลาง 42% ที่ได้จากการทดลองของประกายธรรม (2550) และระยะเวลาที่เก็บ 5 วัน ซึ่งเป็นเวลาที่เก็บโดยทั่วไปของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวตั้ง (Kootatep *et al.*, 2002) ในการคำนวณอัตราการไหลของระบบ (ดูรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ก) จากการคำนวณพบว่าต้องเติมน้ำเข้าในระบบที่ 1 (ควบคุม), ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) และ ระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) ที่อัตราการไหล 0.007 ลิตรต่อนาที จากการทดลองเมื่อทำการวัดอัตราการไหลของน้ำที่เข้าระบบพบว่า ระบบที่ 1 (ควบคุม), 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) และ 3 (คล้าน้ำ) มีอัตราการไหล 0.0071 ± 0.00011 , 0.0074 ± 0.00012 และ 0.0077 ± 0.00011 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1 ภาคผนวก ข) โดยที่มีการเติมน้ำเสียที่อัตราดังกล่าวเป็นเวลา 25 นาที ทุก 12 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.1 อัตราการไหลของระบบบึงประดิษฐ์

ระบบที่	ปริมาตรถัง (ลิตร)	ความพรุน (%)	ระยะเวลาในการกักเก็บ (วัน)	อัตราการไหลที่ได้จากการคำนวณ (ลิตร/นาที)	อัตราการไหลที่ได้จากการวัดจริง (ลิตร/นาที)
1 ควบคุม	126	42	5	0.007	0.0071 ± 0.00011
2 ก้ามกุ้งสีทอง	126	42	5	0.007	0.0074 ± 0.00012
3 คล้าน้ำ	126	42	5	0.007	0.0077 ± 0.00011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 อัตราการระเหย และอัตราการใช้น้ำของพืชภายในระบบบึงประดิษฐ์

จากการศึกษาอัตราการระเหยและอัตราการใช้น้ำของพืชภายในระบบ โดยการวัดปริมาณน้ำที่ออกจากระบบ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ที่เวลา 17.30 น. วัดระดับน้ำที่อิมตัวภายในระบบทุกวัน ที่เวลา 17.30 น. บันทึกช่วงเวลารับแสงแดดทุกวันตลอดการทดลอง พบว่า ระบบที่ 1 (ควบคุม), 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) และ 3 (คล้าน้ำ) มีอัตราการระเหยและอัตราการใช้น้ำของพืชเท่ากับ 2.00 ± 0.10 , 2.40 ± 0.18 และ 2.69 ± 0.08 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2 - ข-4 ภาคผนวก ข) จากผลการทดลองพบว่า ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้ง) และระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) มีอัตราการระเหย และอัตราการใช้น้ำของพืชสูงกว่าระบบที่ 1 (ควบคุม) เนื่องจากระบบควบคุมไม่มีการปลูกพืชจึงมีแต่อัตราการระเหยอย่างเดียว ส่วนระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) จะมีอัตราการระเหย และอัตราการใช้น้ำของพืชสูงกว่าระบบที่ 2 (ก้ามกุ้ง) อาจเป็นเพราะอัตราการใช้น้ำของต้นคล้าน้ำสูงกว่าต้นก้ามกุ้งพืชได้รับแสงแดดในช่วงเวลาระหว่าง 10.00-17.30 น. ซึ่งในช่วงเช้าพืชจะไม่ค่อยได้รับแสงแดดเท่าที่ควร เนื่องจากบริเวณที่ติดตั้งระบบมีต้นไม้ใหญ่บังแสงแดด อย่างไรก็ตาม พบว่าพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี เนื่องจากต้นก้ามกุ้ง และต้นคล้าน้ำ สามารถเจริญเติบโตได้ในที่ที่แสงแดดน้อย และไม่ต้องการแสงแดดมาก (<http://lib.ku.ac.th/plantwebsite>)

ตารางที่ 4.2 อัตราการระเหย และอัตราการใช้น้ำของพืช

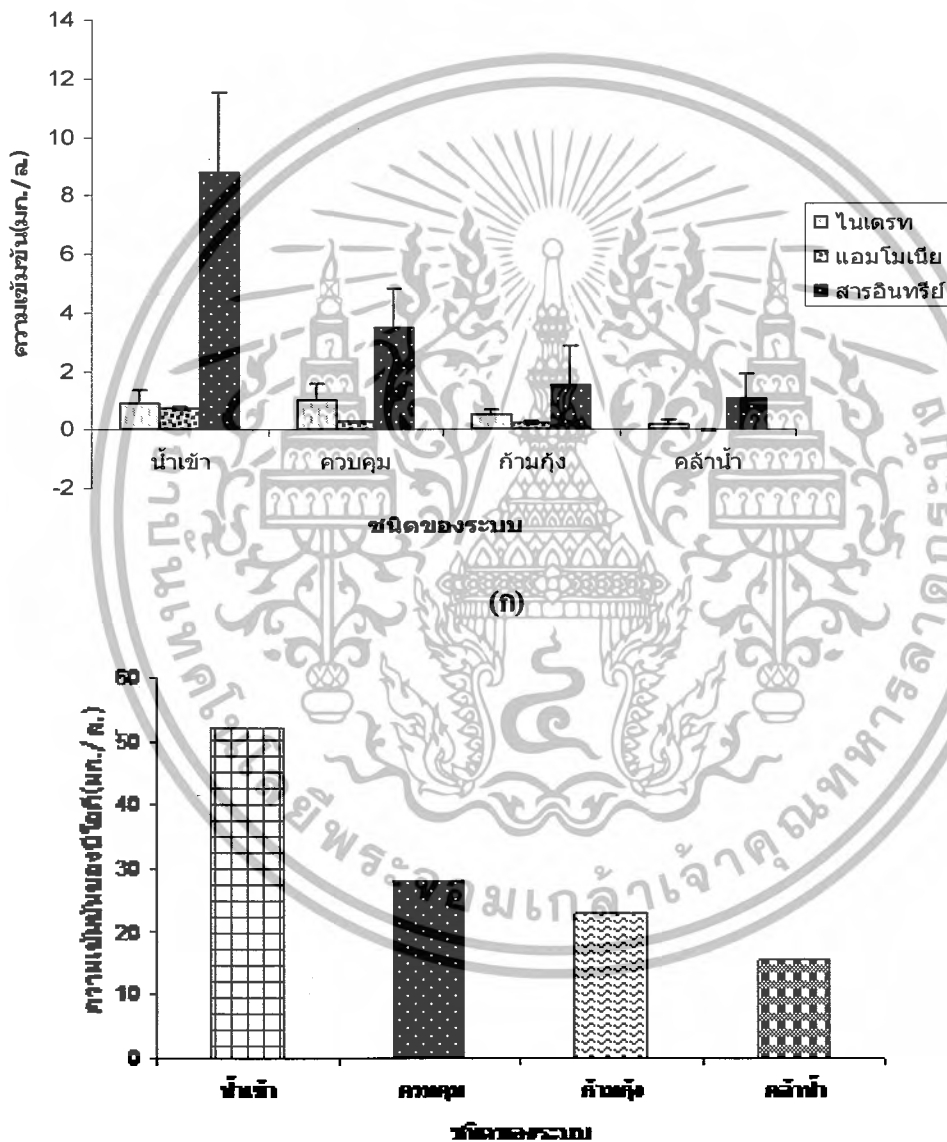
ระบบที่	ปริมาณน้ำเข้าระบบ (ลิตร)	ปริมาณน้ำออกระบบ(ลิตร)	ระดับที่น้ำอิมตัวในระบบ (ซม.)	อัตราการระเหยและอัตราการใช้น้ำของพืช (ลิตร/วัน)
1 ควบคุม	5.08	3.08 ± 0.09	48.18 ± 2.07	$2.00 \pm 0.10^*$
2 ก้ามกุ้ง	5.30	2.90 ± 0.11	45.88 ± 2.35	2.40 ± 0.18
3 คล้าน้ำ	5.55	2.86 ± 0.11	43.13 ± 2.29	2.69 ± 0.08

*หมายเหตุ : ระบบที่ 1 มีแต่อัตราการระเหยของพืชเท่านั้น

4.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียจากหอพัก นักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4.2.1 ชนิดของพืชในระบบบึงประดิษฐ์

การทดลองประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน โดยวิเคราะห์ค่าไนเตรต, แอมโมเนีย, สารอินทรีย์ในโตรเจน และบีโอดี ได้ผลการทดลองดังนี้



(ข)

รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินด้วยพืชต่างชนิดกัน (ก) ไนเตรต แอมโมเนีย และ สารอินทรีย์ในโตรเจน (ข) บีโอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรต แอมโมเนีย สารอินทรีย์ไนโตรเจน และบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวคิงค้วยพืชต่างชนิดกัน

ระบบ	ไนเตรต		แอมโมเนีย		อินทรีย์ไนโตรเจน*		บีโอดี	
	ปริมาณที่ถูกกำจัด (มก./ล)	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)	ปริมาณที่ถูกกำจัด (มก./ล)	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)	ปริมาณที่ถูกกำจัด (มก./ล)	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)	ปริมาณที่ถูกกำจัด (มก./ล)	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)
ระบบที่ 1 (ควบคุม)	0.10 ± 0.44	10.48	0.44 ± 0.03	60.23	5.27 ± 1.3	60.52	24.04 ± 8.64	46.09
ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้ง)	0.43 ± 0.27	46.24	0.51 ± 0.06	69.54	7.28 ± 1.39	86.20	29.56 ± 6.07	56.67
ระบบที่ 3 (คล้าน้ำ)	0.80 ± 0.17	86.51	0.72 ± 0.03	99.78	7.71 ± 0.87	89.17	36.76 ± 4.77	70.48

*หมายเหตุ : อินทรีย์ไนโตรเจนได้จากการคำนวณโดยลบค่าแอมโมเนียออกจากค่าที่เคเอ็น

จากผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย พบว่าระบบที่ 1 (ควบคุม) สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ 0.44 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 60.23 เปอร์เซ็นต์ ในระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ 0.51 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 69.54 เปอร์เซ็นต์ และระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ 0.72 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 99.78 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-3 ภาคผนวก ค) ระบบที่ 1 (ควบคุม) สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ เนื่องจากในสภาวะที่มีออกซิเจนแบคทีเรียจะออกซิไดส์แอมโมเนียเปลี่ยนเป็นไนเตรต และไนไตรท์ โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน และนำพลังงานที่ได้จากกระบวนการนี้ ดึงเอาสารอินทรีย์คาร์บอน ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ หรือคาร์บอนเนต และไบคาร์บอนเนต ในน้ำเสีย เพื่อนำมาใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ (www.pcd.go.th) จึงทำให้แอมโมเนียลดลง นอกจากนี้ แอมโมเนียที่ละลายน้ำอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน มีการจับกับประจุลบบนผิวของอนุภาคทราย ทำให้แอมโมเนียมถูกดูดติดไว้ที่ชั้นทราย และบางส่วนของแอมโมเนียอาจจะเหยียดออกจากระบบ อย่างไรก็ตาม พบว่าในระบบที่ 2 และระบบที่ 3 สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ดีกว่า เนื่องจากพืชจะสามารถนำแอมโมเนียมไอออนไปใช้ในการเจริญเติบโต (www.nstlearning.com) ทำให้ปริมาณแอมโมเนียในระบบมีค่าลดลง จากการทดลองพบว่าระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียได้ดีกว่าระบบที่ 2 (ก้ามกุ้ง) ทั้งนี้เนื่องจากระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) มีการดึงแอมโมเนียในชั้นน้ำไปใช้เป็นอาหาร และมีอัตราการระเหยมากกว่าระบบที่ 2 (ก้ามกุ้ง) (ดูรายละเอียดในภาคผนวกในตารางที่ ข-2 - ข-4 ภาคผนวก ข) และบางส่วนถูกแบคทีเรียเปลี่ยนเป็นไนเตรตด้วยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (nitrification) การใช้แอมโมเนียทั้งสองแบบดังกล่าวเกิดขึ้นได้ดีในน้ำที่มีออกซิเจน ดังนั้นจึงพบว่าแอมโมเนียมีน้อยในน้ำที่มีออกซิเจน และพบว่าแอมโมเนียมีมากในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน (<http://www.nicaonline.com>)

จากผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ไนโตรเจน พบว่าระบบที่ 1 (ควบคุม) สามารถกำจัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนได้ 5.27 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 60.52 เปอร์เซ็นต์ ในระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) สามารถกำจัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนได้ 7.28 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 86.20 เปอร์เซ็นต์ และระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) สามารถกำจัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนได้ 7.71 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 89.17 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-4 ภาคผนวก ค) ระบบที่ 1 (ควบคุม) สามารถกำจัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนได้ คือ กระบวนการเปลี่ยนรูปสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนไปอยู่ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ เช่น แอมโมเนียไนโตรเจน (<http://www.nicaonline.com>) จากการทดลองพบว่าระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนได้ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.2 ทั้งนี้เนื่องมาจากในสภาวะที่มีออกซิเจน เกิดกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน มีการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นแอมโมเนีย โดยแบคทีเรียจะทำการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนจากสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน ทำให้เกิดการ

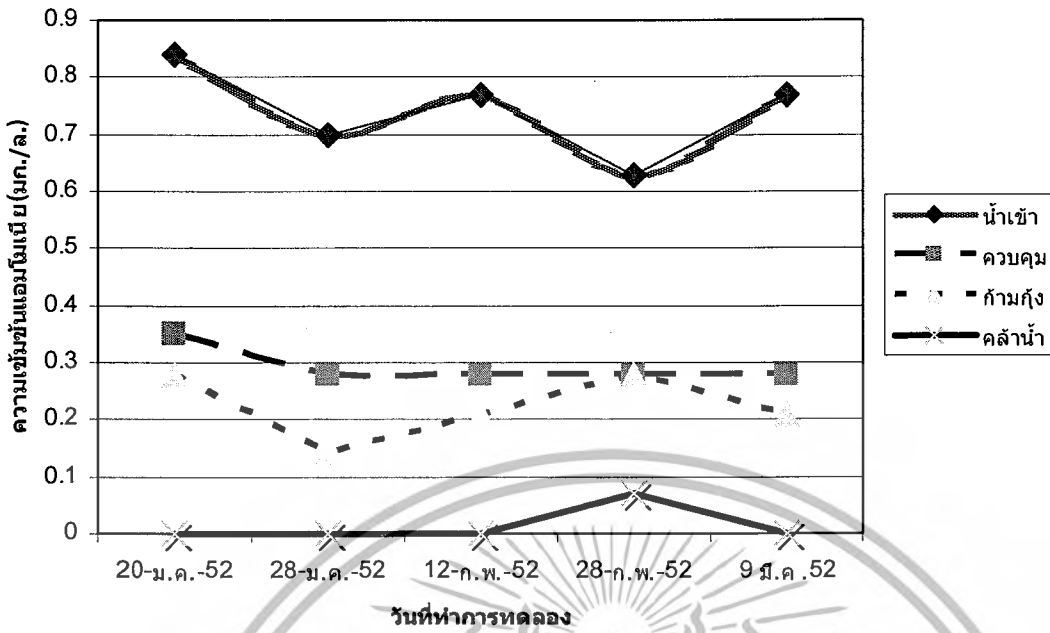
เปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ในโตรเจนเป็นอนินทรีย์ในโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย

(www.pcd.go.th)

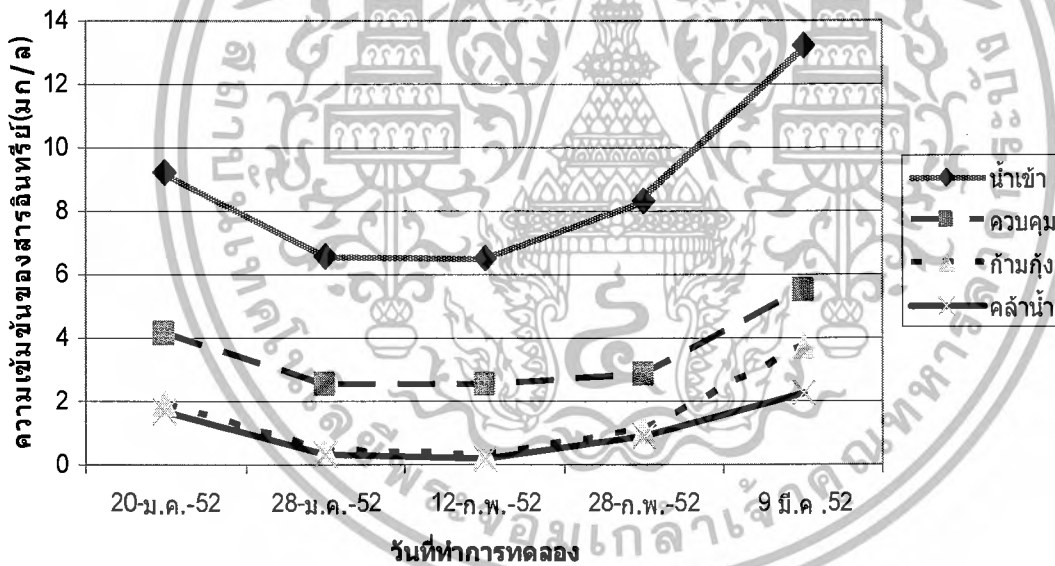
จากผลการทดลองพบว่าระบบที่ 1 (ควมคุม) สามารถกำจัดไนเตรตได้ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 10.48 เปอร์เซ็นต์, ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้ง) สามารถกำจัดไนเตรตได้ 0.43 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 46.24 เปอร์เซ็นต์ และระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) สามารถกำจัดไนเตรตได้ 0.80 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 86.51 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก-1 ภาคผนวก ก) และรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าในระบบที่ 1 (ควมคุม) สามารถกำจัดไนเตรตได้เพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนมีประจุเป็นลบ (NH_3^-) จึงไม่สามารถจับกับทรายซึ่งมีประจุเป็นลบเหมือนกัน (www.swu.ac.th) ส่วนในระบบที่ 2 และระบบที่ 3 สามารถกำจัดไนเตรตได้มากกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะพืชสามารถดึงไนเตรตไปใช้ในการเจริญเติบโต และพบว่าระบบที่ 3 สามารถกำจัดไนเตรตได้ดีกว่าระบบที่ 2 เพราะคล้าน้ำมีรากที่ยาวและมีจำนวนรากมากกว่าก้ามกุ้ง รากจึงช่วยในการดูดไนเตรตไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีกว่า (Vymazal, 1998) จากผลการทดลองสรุปได้ว่าชนิดของพืชจะมีผลต่อการกำจัดไนเตรต ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Dzio (1997) ที่พบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืชมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนต่ำกว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่มีพืช

จากผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี พบว่าระบบที่ 1 (ควมคุม) สามารถกำจัด บีโอดีได้ 24.04 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 46.09 เปอร์เซ็นต์ ในระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) สามารถกำจัด บีโอดีได้ 29.56 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 56.67 เปอร์เซ็นต์ และระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) สามารถกำจัด บีโอดีได้ 36.76 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 70.48 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก-5 ภาคผนวก ก) ระบบที่ 1 (ควมคุม) สามารถกำจัดบีโอดีได้ เนื่องจาก ในระบบควมคุม สารอินทรีย์เกิดการตกตะกอน และมีออกซิเจนอยู่ในปริมาณที่แบคทีเรียสามารถใช้ในการย่อยสลายได้ อย่างไรก็ตาม พบว่าระบบที่ 2 และระบบที่ 3 สามารถกำจัดบีโอดีได้ดีกว่าระบบที่ 1 เนื่องจาก กลไกการบำบัดสารอินทรีย์ในระบบบึงประดิษฐ์เกิดจากการตกตะกอน และการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ซึ่งต้นคล้าน้ำและต้นก้ามกุ้งสีทองมีจำนวนรากมาก ซึ่งรากจะมีส่วนช่วยในการเพิ่มออกซิเจนในระบบผลให้ระบบสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ยังพบว่าระบบบึงประดิษฐ์มีความคงตัวในการกำจัดไนโตรเจนและสารอินทรีย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

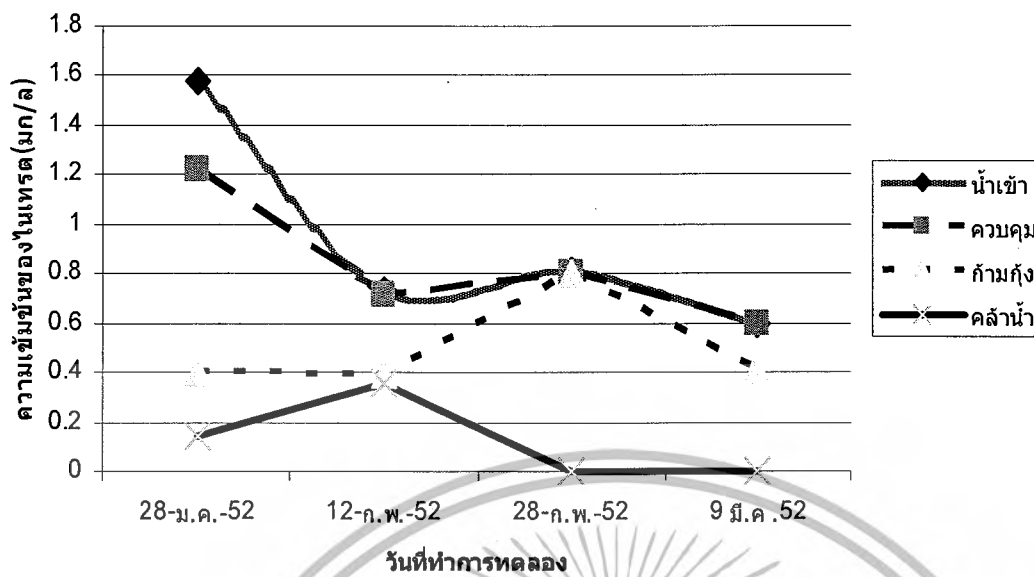


(ก) ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย

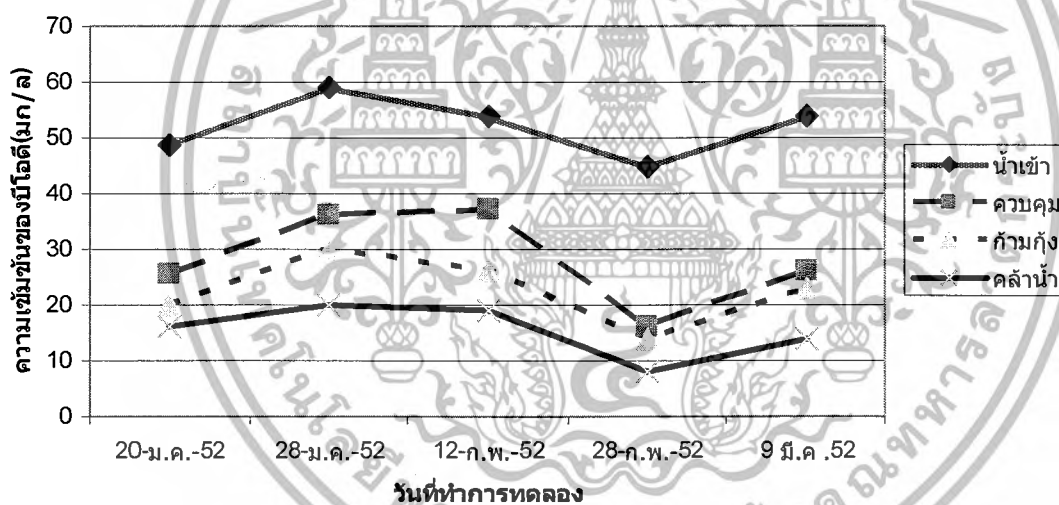


(ข) ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรต



(ง) ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนและสารอินทรีย์ของระบบที่ 1 (ควบคุม) ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) และระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) (ก) แอมโมเนีย (ข) สารอินทรีย์ในโตรเจน (ค) ไนเตรต (ง) บีโอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ระดับความลึกในระบบบึงประดิษฐ์

จากผลการทดลองในระดับชั้นที่ 15 ซม. ระบบที่ 1 (ควบคุม) มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย, อินทรีย์ไนโตรเจน และบีโอดี มีค่าเท่ากับร้อยละ 10.00, 18.66 และ 17.75 ตามลำดับ ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้ง) มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย, อินทรีย์ไนโตรเจน และบีโอดี มีค่าเท่ากับร้อยละ 14.55, 24.64 และ 21.40 ตามลำดับ ระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย, อินทรีย์ไนโตรเจน และบีโอดี มีค่าเท่ากับ 23.34, 30.22 และ 48.24 ตามลำดับ พบว่าในช่วงความลึกที่ 15 เซนติเมตร ทั้ง 3 ระบบไม่สามารถเก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ได้ในการทดลอง 3 ครั้งหลัง เนื่องจากอัตราการระเหยของน้ำ และอัตราการใช้น้ำของพืชมีมาก ทำให้น้ำในระดับชั้นนี้ต่ำกว่าระดับชั้นอื่น (ดูรายละเอียดที่ตาราง ข-2 – ข-4 ภาคผนวก ข) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในชั้นนี้มีมาก เนื่องจากในแต่ละระบบมีการระเหยของแอมโมเนียสู่บรรยากาศ และพืชดึงเอาไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออนไปใช้ในการเจริญเติบโต อีกทั้งยังอาจเกิดจากการดูดซับของเซลล์ในไมโครฟิล์ม จึงทำให้ปริมาณแอมโมเนียในระบบลดลง และเนื่องจากแอมโมเนียลดลงจึงทำให้อินทรีย์ไนโตรเจนลดลงด้วย ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3

จากผลการทดลองในระดับชั้นที่ 30 ซม. ระบบที่ 1 (ควบคุม) มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย, อินทรีย์ไนโตรเจน, ไนเตรตและบีโอดี มีค่าเท่ากับร้อยละ 25.95, 34.40, 0.00 และ 30.21 ตามลำดับ ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้ง) มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย, อินทรีย์ไนโตรเจน, ไนเตรตและบีโอดี มีค่าเท่ากับร้อยละ 22.65, 30.98, 0.00 และ 31.17 ตามลำดับ ระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย, อินทรีย์ไนโตรเจน, ไนเตรตและบีโอดี มีค่าเท่ากับ 37.58, 46.13, 42.62 และ 58.63 ตามลำดับ พบว่าที่ระดับชั้นที่ 30 ซม. ประสิทธิภาพในการกำจัดของระบบที่ 2 (ก้ามกุ้ง) และระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) มีค่ามากกว่าระบบที่ 1 (ควบคุม) เนื่องจากทั้งสองระบบมีการปลูกพืช อินทรีย์ไนโตรเจนเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปของอินทรีย์ไนโตรเจน รากพืชมีส่วนช่วยในการเพิ่มออกซิเจนลงไปในพื้นที่กลาง ทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยเปลี่ยนรูปอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นไนไตรท์ และไนเตรต ทำให้ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียลดลง อินทรีย์ไนโตรเจนเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรต ทำให้พืชสามารถดูดสารอาหารในรูปไนเตรตไปใช้ในการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังมีการดูดซับโดยดินทำให้ปริมาณของไนเตรตลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3

จากผลการทดลองในระดับชั้นที่ 45 ซม. ระบบที่ 1 (ควบคุม) มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย, อินทรีย์ไนโตรเจน, ไนเตรต และบีโอดี มีค่าเท่ากับร้อยละ 45.40, 47.60, 0.00 และ 41.56ตามลำดับ ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้ง) มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย, อินทรีย์ไนโตรเจน, ไนเตรตและบีโอดี มีค่าเท่ากับร้อยละ 48.85, 56.64, 0.00 และ 40.95 ตามลำดับ ระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย, อินทรีย์ไนโตรเจน, ไนเตรตและบีโอดี มีค่าเท่ากับร้อยละ 69.54, 71.77, 39.95 และ 63.34 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีมาก เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารอินทรีย์ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายทำให้มีบีโอดีมีค่าน้อยลง ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 ในรูปที่ 4.3 ทำให้อยู่ในภาวะที่มีออกซิเจนจึงยังมีการเปลี่ยนรูปของอินทรีย์ในโตรเจนไปเป็นไนเตรตอยู่ และพืชสามารถดูดไปใช้ได้ ทำให้ปริมาณของอินทรีย์ในโตรเจนและไนเตรตลดลง และเนื่องจากคัลาน้ำมีรากที่ยาวกว่าและแผ่ขยายได้มากกว่าก้ามกุ้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.4 จึงทำให้คัลาน้ำมีประสิทธิภาพในการกำจัดดีกว่าก้ามกุ้ง พบว่าที่ระดับชั้นที่ 45 ซม. มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย, อินทรีย์ในโตรเจนและบีโอดีได้ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3

จากผลการทดลองในระดับชั้นที่ 60 ซม. ระบบที่ 1 (ควบคุม) มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย, อินทรีย์ในโตรเจน, ไนเตรตและบีโอดี มีค่าเท่ากับร้อยละ 60.23, 60.06, 2.65 และ 52.22 ตามลำดับ ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้ง) มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย, อินทรีย์ในโตรเจน, ไนเตรตและบีโอดี มีค่าเท่ากับร้อยละ 69.54, 82.86, 38.55 และ 56.67 ตามลำดับ ระบบที่ 3 (คัลาน้ำ) มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย, อินทรีย์ในโตรเจน, ไนเตรตและบีโอดี มีค่าเท่ากับร้อยละ 99.78, 87.78, 85.54 และ 70.48 ตามลำดับ เนื่องมาจากในการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบที่ระดับความลึกสูงๆจะมีระยะเวลาในการกักเก็บของสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสารอินทรีย์จะถูกจุลินทรีย์นำไปย่อยสลายตั้งแต่ในระดับชั้นต้นๆ เมื่อระดับชั้นที่ลึกลงมา จึงมีปริมาณสารอินทรีย์ลดย่อยลงทำให้ปริมาณบีโอดี ในระดับความลึกมาก ๆ มีปริมาณน้อยลง (Konnerup *etal.*, 2009) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 ในชั้นนี้ยังมีการดูดซึมโดยชั้นตัวกลาง ทำให้สามารถลดปริมาณของแอมโมเนียและอินทรีย์ในโตรเจนได้ และพบว่าที่ระดับชั้นที่ 60 ซม. มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนเตรตได้ดีที่สุด เนื่องมาจากมีการเปลี่ยนรูปของอินทรีย์ในโตรเจนไปเป็นไนเตรตมาก จึงทำให้พืชดูดไนเตรตไปใช้มาก ปริมาณของไนเตรตจึงลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3

เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2545. **ตำราระบบบำบัดมลพิษ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
- เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2539. **การบำบัดน้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มิตรนภาการพิมพ์.
- คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 2538 **การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.
- ประกายธรรม สุขสถิตย์. 2550. ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอน ในโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชน โดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง. กรุงเทพฯ : สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ศุวสา กานตวนิชกูร. 2544. การกำจัดไนโตรเจนโดยระบบ Combined Construct Wetland ในเขตอากาศร้อน. เชียงใหม่ : ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ศุกลักษณ์ อรรถมพ์. 2548. ประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์และระบบกรองน้ำในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานซ่อมบำรุงสงขลา : สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ภิญญา เนียมคำ. 2545. การกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียมูลสุกรโดยบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลใต้ผิวดินในแนวดิ่งและถังกรองทรายที่มีการไหลในแนวนอน : ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- บิสมิ เเด่นดารา. 2548. การกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการ Completed Nitrification and Denitrification ในน้ำเสียบริษัท แปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด : มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาสหเวชศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
- ซัชชาย และคณะ. 2549. การศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบต่อเนื่องของระบบ AMBR และ ASBR เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำและแก้ไขปัญหา Eutrophication : คณะสาธารณสุขศาสตร์
- นางอำพร คล้ายแก้ว และนางสาวนิศานาถ ละอองพันธ์. 2545. การศึกษาการใช้วัชพืชไหล่พื้นน้ำปรับปรุงคุณภาพน้ำ : สำนักวิจัยและพัฒนากลุ่มงานวัชพืชกรมชลประทาน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จารุณี และจุไรรัตน์. 2543. การบำบัดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ด้วยระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands) แบบการไหลในแนวตั้ง และการไหลผ่านชั้นทรายกรองในแนวนอนตามลำดับ : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- APHA, AWWA and WEF . 1995. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**. 19th Edition. USA : American Public Health Association.
- Atlas, R.M. and. Bartha R. 1998. **Microbial Ecology**: Fundamental and Application 4 edition. Menlo Park. Benjamin/Cummings. Science Publishing
- Brix, H. 1994. Functions of Macrophytes in Construct Wetland. Water Science and Technology. 29 : 71-78.
- Brix, H. and Schierup, H. 1989. Sewage Treatment in Constructed Reed Beds Danish Experiences. Water Science and technology. 21 89-107.
- Copper Dane, J.H. 2002. **Physical Method**. In Methods of soil analysis, Part4, 5th edition
- Drizo, A. Frost, C.A., Smith, K.A. and Grace, J. 1997. Phosphate and Ammonium Removal by Constructed Wetlands with Horizontal Subsurface Flow using Shale as a Substrate. Water Science and Technology.
- Elken, G.H. 1992. **Biological Nitrogen Fixation System in Tropical Ecosystem**: An Overview. In Biological Nitrogen Fixation and Sustainability of Tropical Agriculture. K. Mulongoy, M. Gueye and D.S.C. Spancer, eds. John Wiley and Sons
- Koottatep, T., Polprasert, N., Oanh, T. K., Surinkul, N., Montangero, A. and Strauss, M. 2002. Constructed Wetlands for Septage Treatment – Towards Effective Faecal Sludge Management. Bangkok : Asia Institute of Technology.
- Polprasert, C. 1998. Constructed Wetland for Wastewater Treatment and Resource Recovery, Environmental System Reviews. Bangkok : Asia Institute of Technology.
- Reed, S.C. Middlebrooks, E.J. and Crites, R.W. 1988 Natural System for waste Management and Treatment. New York : McGraw-Hill
- Steiner, G.R. and R.J Freeman, Jr. 1989. Configuration and Substrate Design Considerations for Constructed Wetlands Wastewater Treatment. Chelsea, MI : Lewis Publisher
- Tanner, C.C. 2004. **Nitrogen Removal Processes in Constructed Wetlands** Ecosystems in Asia. Tchobanoglous, G., Burton, F.L. and Stensel, H.D. 2004. **Wastewater Engineering Treatment and Reuse**. 4th edition. New York : McGraw-Hill.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vloker, L., Elke Martinna, L.W., Andreas, L. and Richard, M.G. 2001. Nutrient Removal Wetland. Ecological Engineering. 18, 157-171

Vymazal, J. 1998. Removal Mechanism and Types of Constructed Wetlands. Constructed Wetland for Wastewater Treatment In Europe.

U.S.EPA 2000(a). Wastewater Technology Fact Sheet, Wetland: Free Water Surface EPA/832/F-00/024.

U.S.EPA 2000(b). Wastewater Technology Fact Sheet, Wetland: Surface .Flow. EPA/832/F-00/023.

[Online]. Available : www.pcd.go.th

[Online]. Available : www.il.mahidol.ac.th

[Online]. Available : www.dgr.go.th/water2006

[Online]. Available : www.agkc.lib.ku.ac.th

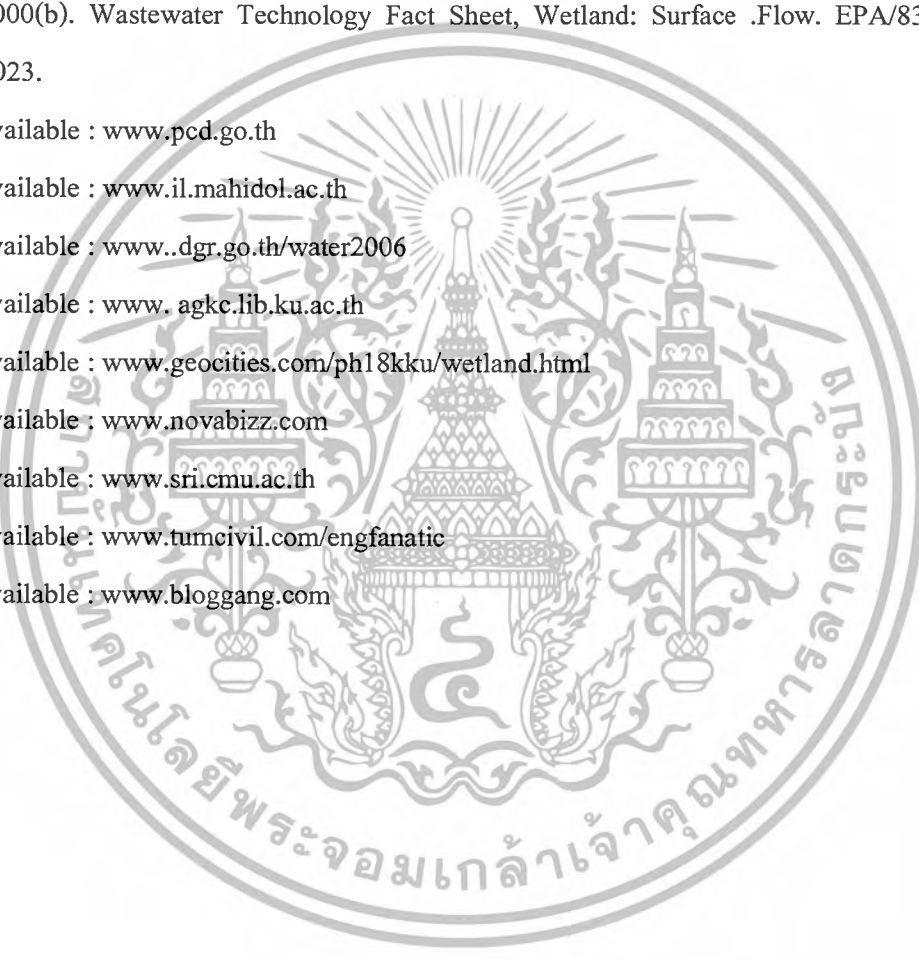
[Online]. Available : www.geocities.com/ph18kku/wetland.html

[Online]. Available : www.novabizz.com

[Online]. Available : www.sri.cmu.ac.th

[Online]. Available : www.tumcivil.com/engfanatic

[Online]. Available : www.bloggang.com





ภาคผนวก ก

วิธีการดำเนินการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-1 วิธีการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำ

จากสูตร
$$HRT = \frac{V}{Q} \longrightarrow Q = \frac{V}{HRT}$$

เมื่อ HRT = ระยะเวลาในการกักเก็บ

V = ปริมาตรของถัง

Q = อัตราการไหล

จากการทดลอง ปริมาตรถัง เท่ากับ 126 ลิตร

ค่าความพรุนของตัวกลาง เท่ากับ 42%

ระยะเวลาในการกักเก็บ (HRT) เท่ากับ 5 วัน

เมื่อนำมาแทนค่าในสูตร

$$Q = \frac{126 \text{ ลิตร} \times 0.42}{5 \text{ วัน} \times 24 \text{ ชั่วโมง} \times 60 \text{ นาที}}$$

$$= 0.007 \text{ ลิตรต่อนาที}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 อัตราการไหลที่ได้จากการทดลองของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินแนวตั้ง

ครั้งที่ทำการวัด	ระบบที่1 (ควบคุม)	ระบบที่2 (ก้ามกุ้งสีทอง)	ระบบที่3 (คล้าน้ำ)
1	0.0069	0.0074	0.0076
2	0.0071	0.0072	0.0078
3	0.0071	0.0075	0.0076
4	0.0072	0.0074	0.0076
5	0.0071	0.0075	0.0078
X	0.0071	0.0074	0.0077
S.D.	0.0001	0.0001	0.0001

ตารางที่ ข-2 ช่วงเวลาที่ได้รับแสงแดด อัตราการระเหย และอัตราการใช้น้ำของพืชในระบบที่ 1 (ควบคุม)

วันที่เก็บ	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณน้ำ เข้าระบบ (ลิตร)	ปริมาณน้ำ ออกจากระบบ (ลิตร)	อัตราการระเหย ของน้ำและ อัตราการใช้น้ำ ของพืช (ลิตรต่อวัน)
19 มค. 2552	29.3	5.00	3.19	1.81
23 มค. 2552	28.9	5.10	2.98	2.12
26 มค. 2552	29.4	5.10	3.12	1.98
30 มค. 2552	29.8	5.20	3.15	2.05
2 กพ. 2552	29.2	5.10	2.92	2.14
6 กพ. 2552	30.1	5.00	3.11	1.89
\bar{X}		5.08	3.08	2.00
S.D.		0.06	0.09	0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ช่วงเวลาที่ได้รับแสงแดด อัตราการระเหย และอัตราการใช้น้ำของพืชในระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง)

วันที่เก็บ	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณน้ำ เข้าระบบ (ลิตร)	ปริมาณน้ำ ออกจากระบบ (ลิตร)	อัตราการ ระเหยของน้ำ และอัตราการ ใช้น้ำของพืช (ลิตรต่อวัน)
19 มค. 2552	29.3	5.3	2.9	2.4
23 มค. 2552	28.9	5.2	3	2.2
26 มค. 2552	29.4	5.4	2.94	2.46
30 มค. 2552	29.8	5.3	3	2.3
2 กพ. 2552	29.2	5.4	2.74	2.66
6 กพ. 2552	30.1	5.2	2.83	2.37
\bar{X}		5.3	2.9	2.4
S.D.		0.1	0.11	0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 ช่วงเวลาที่ได้รับแสงแดด อัตราการระเหย และอัตราการใช้ น้ำของพืชในระบบที่ 3 (คล้าน้ำ)

วันที่เก็บ	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณน้ำเข้าระบบ (ลิตร)	ปริมาณน้ำออกจากระบบ (ลิตร)	อัตราการระเหยของน้ำและอัตราการใช้ น้ำของพืช (ลิตรต่อวัน)
19 มค. 2552	29.3	5.5	3	2.5
23 มค. 2552	28.9	5.6	2.94	2.66
26 มค. 2552	29.4	5.5	2.85	2.65
30 มค. 2552	29.8	5.6	2.9	2.7
2 กพ. 2552	29.2	5.6	2.8	2.8
6 กพ. 2552	30.1	5.5	2.65	2.85
\bar{X}		5.55	2.86	2.69
S.D.		0.05	0.11	0.08

ตารางที่ ข-5 ระดับที่น้ำอ้อมตัวภายในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง

ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	ระดับที่น้ำอ้อมตัวภายในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง (ซม.)		
	ระบบที่1 (ควบคุม)	ระบบที่2 (ก้ามกุ้งสีทอง)	ระบบที่3 (คล้าน้ำ)
19 มค. 2552	51.3	49.6	45.4
23 มค. 2552	49.6	47.8	46.2
26 มค. 2552	47.8	45.6	42.3
30 มค. 2552	46.2	43.5	40.5
2 กพ. 2552	48.4	44.2	41.1
6 กพ. 2552	45.8	44.6	43.3
\bar{X}	48.18	45.88	43.13
S.D.	2.07	2.35	2.29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรดของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลเนเวดิ่ง ด้วยพืชต่างชนิดกัน

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นไนเตรด (มก./ล.)				ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรด (ร้อยละ)		
	น้ำเข้า ระบบ	ระบบที่ 1 (ควมคุม)	ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง)	ระบบที่ 3 (คณน้ำ)	ระบบที่ 1 (ควมคุม)	ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง)	ระบบที่ 3 (คณน้ำ)
28ม.ค.52	1.58	1.22	0.40	0.14	22.91	74.94	91.18
12ก.พ.52	0.73	0.71	0.39	0.36	2.07	46.42	50.96
28ก.พ.52	0.81	0.80	0.80	0.00	0.37	0.50	100.00
9 มี.ค .52	0.60	0.60	0.41	0.00	0.33	32.56	100.00
\bar{X}	0.93	0.83	0.50	0.13	10.48	46.24	86.56
S.D.	0.44	0.27	0.20	0.17	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

ตารางที่ ค-2 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลเนเวดิ่ง ด้วยพืชต่างชนิดกัน

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นที่เคเอ็น (มก./ล.)				ประสิทธิภาพการบำบัดที่เคเอ็น (ร้อยละ)		
	น้ำเข้า ระบบ	ระบบที่ 1 (ควมคุม)	ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง)	ระบบที่ 3 (คณน้ำ)	ระบบที่ 1 (ควมคุม)	ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง)	ระบบที่ 3 (คณน้ำ)
20ม.ค.52	10.08	4.48	2.24	1.69	55.55	77.77	83.23
28ม.ค.52	7.28	2.80	0.56	0.32	75.44	92.30	95.60
12ก.พ.52	7.28	2.80	0.56	0.21	75.44	92.30	97.11
28ก.พ.52	8.96	3.13	1.36	0.98	65.07	84.82	89.06
9 มี.ค .52	14.00	5.79	3.92	2.23	58.64	72.00	84.07
\bar{X}	9.52	3.80	1.73	0.64	66.03	83.84	89.81
S.D.	2.77	1.31	1.41	0.87	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหล
แนวตั้งด้วยพืชต่างชนิดกัน

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นแอมโมเนีย (มก./ล.)				ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย (ร้อยละ)		
	น้ำเข้า ระบบ	ระบบที่ 1 (คววม)	ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง)	ระบบที่ 3 (ค่าน้ำ)	ระบบที่ 1 (คววม)	ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง)	ระบบที่ 3 (ค่าน้ำ)
20ม.ค.52	0.84	0.35	0.28	0.00	58.33	66.67	100.00
28ม.ค.52	0.70	0.28	0.14	0.00	60.00	80.00	100.00
12ก.พ.52	0.77	0.28	0.21	0.00	63.64	72.73	100.00
28ก.พ.52	0.63	0.28	0.28	0.07	55.56	55.56	88.89
9 มี.ค. 52	0.77	0.28	0.21	0.00	63.64	72.73	100.00
\bar{X}	0.73	0.29	0.22	0.01	60.23	69.54	99.78
S.D.	0.08	0.03	0.06	0.03	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

ตารางที่ ก-4 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์ใน ไตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์น้ำ
ไหลแนวตั้งด้วยพืชต่างชนิดกัน

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นอินทรีย์ในไตรเจน (มก./ล.)				ประสิทธิภาพการบำบัด อินทรีย์ในไตรเจน (ร้อยละ)		
	น้ำเข้า ระบบ	ระบบที่ 1 (คววม)	ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง)	ระบบที่ 3 (ค่าน้ำ)	ระบบที่ 1 (คววม)	ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง)	ระบบที่ 3 (ค่าน้ำ)
20 ม.ค. 52	9.24	4.13	1.96	1.69	55.30	78.79	81.71
28 ม.ค. 52	6.58	2.52	0.42	0.32	61.70	93.62	95.14
12กพ.. 52	6.51	2.52	0.35	0.21	61.29	94.62	96.77
28กพ.. 52	8.33	2.85	1.08	0.91	65.79	87.03	89.08
9 มี.ค 52	13.23	5.51	3.71	2.23	58.35	71.96	83.14
\bar{X}	8.78	3.51	1.50	1.07	60.49	85.20	89.17
S.D.	2.75	1.30	1.39	0.87	3.93	9.74	6.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เผยแพร่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓-5 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลแนวตั้ง ด้วยพืชต่างชนิดกัน

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นบีโอดี (มก./ล.)				ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี (ร้อยละ)		
	น้ำเข้า ระบบ	ระบบที่ 1 (ควมคุม)	ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง)	ระบบที่ 3 (คล้าน้ำ)	ระบบที่ 1 (ควมคุม)	ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง)	ระบบที่ 3 (คล้าน้ำ)
20ม.ค.52	48.8	25.40	20.00	16.00	47.95	59.02	67.21
28ม.ค.52	59.00	20.00	30.00	20.00	38.98	49.15	66.10
12ก.พ.52	54.00	37.00	26.00	19.00	31.48	51.85	64.81
28ก.พ.52	45.00	16.00	14.00	8.00	64.44	68.89	82.22
9 มี.ค .52	54.00	26.20	23.00	14.00	51.48	57.41	74.07
\bar{X}	52.16	28.12	22.60	15.40	46.09	56.67	70.48
S.D.	5.39	8.64	6.07	4.77	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-1 ผลของปริมาณ ไนเตรตทีเคเอ็น แอมโมเนีย อินทรีย์ใน ไตรเจน และบีโอดีของน้ำเสีย จากหอพักนักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เข้าระบบบึงประดิษฐ์

วันที่เก็บตัวอย่าง	ไนเตรต (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	แอมโมเนีย (มก./ล.)	อินทรีย์ในไตรเจน (มก./ล.)	บีโอดี (มก./ล.)
20ม.ค.52	-	10.08	0.84	9.24	48.80
28ม.ค.52	1.58	7.28	0.70	6.58	59.00
12ก.พ.52	0.73	7.28	0.77	6.51	54.00
28ก.พ.52	0.81	8.96	0.63	8.33	45.00
9 มี.ค. 52	0.60	14.00	0.77	13.23	54.00
\bar{X}	0.93	9.52	0.73	8.78	52.16
S.D.	0.44	5.52	0.13	2.75	5.39

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

ตารางที่ ง-2 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรตของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 1 (คววมลึก) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร

ความลึก (ซม.)	ความเข้มข้นไนเตรต (มก./ล.)						\bar{X}	S.D.	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)
	20 ม.ค. 52	28 ม.ค. 52	12 ก.พ. 52	28 ก.พ. 52	9 มี.ค. 52	9			
น้ำเข้า	-	1.58	0.73	0.81	0.60	0.93	0.44	-	
15	-	-	-	-	-	-	-	0.00	
30	-	1.32	1.66	0.00	-	0.99	0.87	0.00	
45	-	0.00	1.20	1.83	0.00	0.76	0.91	0.00	
60	-	1.22	0.71	0.80	0.60	0.83	0.27	2.65	

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

*-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-3 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรดของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) ที่ระดับความลึก 15 , 30, 45 และ 60 เซนติเมตร

ความลึก (ซม.)	ความเข้มข้นไนเตรด (มก./ล.)							ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
	20	28	12	28	9	\bar{X}	S.D.	
	ม.ค.	ม.ค.	ก.พ.	ก.พ.	มี.ค.			
	52	52	52	52	52			
น้ำเข้า	-	1.57	0.73	0.81	0.60	0.93	0.44	-
15	-	-	-	-	-	-	-	0.00
30	-	2.19	1.38	2.23	-	1.20	1.13	0.00
45	-	1.83	0.89	0.83	1.86	1.35	0.57	0.00
60	-	0.40	0.39	0.80	0.41	0.50	0.20	38.55

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

ตารางที่ ง-4 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรดของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร

ความลึก (ซม.)	ความเข้มข้นไนเตรด (มก./ล.)							ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
	20	28	12	28	9	\bar{X}	S.D.	
	ม.ค.	ม.ค.	ก.พ.	ก.พ.	มี.ค.			
	52	52	52	52	52			
น้ำเข้า	-	1.58	0.73	0.81	0.60	0.93	0.44	-
15	-	-	-	-	-	-	-	0.00
30	-	1.40	0.61	0.00	-	0.67	0.65	42.62
45	-	1.11	0.53	0.54	0.18	0.59	0.39	39.95
60	-	0.14	0.36	0.00	0.00	0.12	0.17	85.54

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-5 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 1 (ควบคุม) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร

ความลึก (ซม.)	ความเข้มข้นที่เคเอ็น (มก./ล.)							ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
	20	28	12	28	9	\bar{X}	S.D.	
	ม.ค.	ม.ค.	ก.พ.	ก.พ.	มี.ค.			
	52	52	52	52	52			
น้ำเข้า	10.08	7.28	7.28	8.96	14.00	9.52	2.77	-
15	8.96	6.72	-	-	-	7.84	1.58	17.60
30	7.84	3.92	5.04	6.32	8.40	6.30	1.87	33.80
45	5.60	3.92	3.92	4.30	7.28	5.00	1.45	47.50
60	4.48	2.80	2.80	3.13	5.79	3.80	1.31	60.10

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

ตารางที่ ง-6 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร

ความลึก (ซม.)	ความเข้มข้นที่เคเอ็น (มก./ล.)							ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
	20	28	12	28	9	\bar{X}	S.D.	
	ม.ค.	ม.ค.	ก.พ.	ก.พ.	มี.ค.			
	52	52	52	52	52			
น้ำเข้า	10.08	7.28	7.28	8.96	14.00	9.52	2.77	-
15	8.40	6.16	-	-	-	7.28	1.58	23.50
30	7.28	4.48	6.16	6.28	8.96	6.63	1.64	30.40
45	5.04	2.24	3.36	4.12	6.16	4.18	1.51	56.10
60	2.24	0.56	0.56	1.36	3.92	1.73	1.41	81.80

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-7 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร

ความลึก (ซม.)	ความเข้มข้นทีเคเอ็น (มก./ล.)							ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
	20	28	12	28	9	\bar{X}	S.D.	
	ม.ค.	ม.ค.	ก.พ.	ก.พ.	มี.ค.			
	52	52	52	52	52			
น้ำเข้า	10.08	7.28	7.28	8.96	14.00	9.52	2.77	-
15	7.84	5.60	-	-	-	6.72	1.58	22.65
30	6.72	3.92	3.36	4.11	7.84	3.62	1.97	39.63
45	3.36	1.68	1.12	2.59	4.48	1.75	1.34	73.44
60	1.69	0.32	0.21	0.98	2.23	0.64	0.87	89.81

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

ตารางที่ ง-8 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 1 (ควบคุม) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร

ความลึก (ซม.)	ความเข้มข้นแอมโมเนีย (มก./ล.)							ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
	20	28	12	28	9	\bar{X}	S.D.	
	ม.ค.	ม.ค.	ก.พ.	ก.พ.	มี.ค.			
	52	52	52	52	52			
น้ำเข้า	0.84	0.70	0.77	0.63	0.77	0.73	0.08	-
15	0.84	0.56	-	-	-	0.70	0.20	10.00
30	0.63	0.49	0.49	0.56	0.56	0.55	0.06	25.95
45	0.49	0.35	0.35	0.35	0.49	0.41	0.08	45.40
60	0.35	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.03	60.23

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-9 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหล
แนวตั้งของระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร

ความลึก (ซม.)	ความเข้มข้นแอมโมเนีย (มก./ล.)							ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
	20	28	12	28	9	\bar{X}	S.D.	
	ม.ค.	ม.ค.	ก.พ.	ก.พ.	มี.ค.			
	52	52	52	52	52			
น้ำเข้า	0.84	0.70	0.77	0.63	0.77	0.73	0.08	-
15	0.77	0.56	-	-	-	0.67	0.15	14.55
30	0.70	0.42	0.56	0.56	0.63	0.57	0.10	22.65
45	0.42	0.21	0.35	0.42	0.49	0.38	0.11	48.85
60	0.28	0.14	0.21	0.28	0.21	0.22	0.06	69.54

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

ตารางที่ ง-10 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหล
แนวตั้งของระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร

ความลึก (ซม.)	ความเข้มข้นแอมโมเนีย (มก./ล.)							ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
	20	28	12	28	9	\bar{X}	S.D.	
	ม.ค.	ม.ค.	ก.พ.	ก.พ.	มี.ค.			
	52	52	52	52	52			
น้ำเข้า	0.84	0.70	0.77	0.63	0.77	0.73	0.08	-
15	0.70	0.49	-	-	-	0.56	0.15	23.34
30	0.63	0.35	0.35	0.49	0.49	0.46	0.12	37.58
45	0.21	0.07	0.07	0.21	0.28	0.17	0.09	77.24
60	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.01	0.03	99.78

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-11 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์ไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลเนเวดิ่งของระบบที่ 1 (ควบคุม) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร

ความลึก (ซม.)	ความเข้มข้นอินทรีย์ไนโตรเจน (มก./ล.)							ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
	20	28	12	28	9	\bar{X}	S.D.	
	ม.ค.	ม.ค.	ก.พ.	ก.พ.	มี.ค.			
	52	52	52	52	52			
น้ำเข้า	9.24	6.58	6.51	8.33	13.23	8.78	2.75	-
15	8.12	6.16	-	-	-	7.14	1.39	18.66
30	7.21	3.43	4.55	5.76	7.84	5.76	1.82	34.40
45	5.11	3.57	3.57	3.95	6.79	4.59	1.38	47.62
60	4.13	2.52	2.52	2.85	5.51	3.81	1.30	60.06

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

ตารางที่ ง-12 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์ไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลเนเวดิ่งของระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร

ความลึก (ซม.)	ความเข้มข้นอินทรีย์ไนโตรเจน (มก./ล.)							ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
	20	28	12	28	9	\bar{X}	S.D.	
	ม.ค.	ม.ค.	ก.พ.	ก.พ.	มี.ค.			
	52	52	52	52	52			
น้ำเข้า	9.24	6.58	6.51	8.33	13.23	8.77	2.75	-
15	7.63	5.6	-	-	-	6.61	1.44	24.64
30	6.58	4.06	5.6	5.72	8.33	6.05	1.56	30.98
45	4.62	2.03	3.01	3.70	5.67	3.80	1.41	56.64
60	1.96	0.42	0.35	1.08	3.71	1.50	1.39	82.86

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-13 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์ในโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลเนเวดิ่งของระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร

ความลึก (ซม.)	ความเข้มข้นอินทรีย์ในโตรเจน (มก./ล.)							ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
	20	28	12	28	9	\bar{X}	S.D.	
	ม.ค.	ม.ค.	ก.พ.	ก.พ.	มี.ค.			
	52	52	52	52	52			
น้ำเข้า	9.24	6.58	6.51	8.33	13.23	8.78	2.75	-
15	7.14	5.11	-	-	-	6.12	1.44	30.22
30	6.09	3.57	3.01	3.62	7.35	4.72	1.89	46.13
45	3.15	1.61	1.05	2.38	4.2	2.47	1.25	71.77
60	1.69	0.32	0.21	0.91	2.23	1.07	0.87	87.78

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

ตารางที่ ง-14 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลเนเวดิ่งของระบบที่ 1 (ควมคุม) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร

ความลึก (ซม.)	ความเข้มข้นบีโอดี(มก./ล.)							ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
	20	28	12	28	9	\bar{X}	S.D.	
	ม.ค.	ม.ค.	ก.พ.	ก.พ.	มี.ค.			
	52	52	52	52	52			
น้ำเข้า	48.80	59.00	54.00	45.00	54.00	52.16	5.39	-
15	37.80	48.00	-	-	-	42.90	7.21	17.75
30	34.80	44.00	48.00	20.00	37.40	36.40	10.77	30.21
45	29.00	36.00	40.00	18.00	29.40	30.48	8.37	41.56
60	25.40	20.00	37.00	16.00	26.20	24.92	7.93	52.22

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-15 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร

ความลึก (ซม.)	ความเข้มข้นบีโอดี(มก./ล.)							ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
	20	28	12	28	9	\bar{X}	S.D.	
	ม.ค.	ม.ค.	ก.พ.	ก.พ.	มี.ค.			
	52	52	52	52	52			
น้ำเข้า	48.80	59.00	54.00	45.00	54.00	52.16	5.39	-
15	32.00	50.00	-	-	-	41.00	12.73	21.40
30	28.00	46.00	50.00	20.00	34.00	35.60	12.44	31.17
45	24.00	42.00	42.00	18.00	28.00	30.80	10.83	40.95
60	20.00	30.00	26.00	14.00	23.00	22.60	6.07	56.67

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

ตารางที่ ง-16 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์น้ำไหลแนวตั้งของระบบที่ 3 (คล้าน้ำ) ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร

ความลึก (ซม.)	ความเข้มข้นบีโอดี(มก./ล.)							ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
	20	28	12	28	9	\bar{X}	S.D.	
	ม.ค.	ม.ค.	ก.พ.	ก.พ.	มี.ค.			
	52	52	52	52	52			
น้ำเข้า	48.80	59.00	54.00	45	54	52.16	5.39	-
15	24.00	30.00	-	-	-	27	4.24	48.24
30	20.00	22.00	25.10	16	24.8	21.58	3.76	58.63
45	18.00	24.00	21.60	10.00	22	19.12	5.54	63.34
60	16.00	20.00	19.00	8.00	14	15.4	4.77	70.48

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-17 ผลของลักษณะของน้ำที่เข้า และออกจากระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน
แนวตั้ง

วันที่เก็บตัวอย่าง	น้ำเข้าระบบ		น้ำออกจากระบบ					
			ระบบที่ 1 (ควบคุม)		ระบบที่ 2 (ก้ามกุ้งสีทอง)		ระบบที่ 3 (คัลาน้ำ)	
	อุณหภูมิ (°C)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	พีเอช
20ม.ค.52	32.9	7.12	30.9	7.38	31.3	6.97	30.3	7.17
28ม.ค.52	32.9	7.22	30.2	7.16	29.6	7.15	29.9	7.35
12ก.พ.52	32.3	7.25	27.9	7.20	28.6	7.07	27.8	7.62
28ก.พ.52	30.6	7.03	30.4	7.03	30.5	7.44	30.1	7.02
9 มี.ค. 52	28.9	7.01	31.7	7.39	31.9	7.29	28.2	7.11
\bar{X}	31.5	7.13	30.2	7.13	30.4	7.18	29.3	7.25
S.D.	1.74	0.11	1.42	0.15	1.32	0.18	1.17	0.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

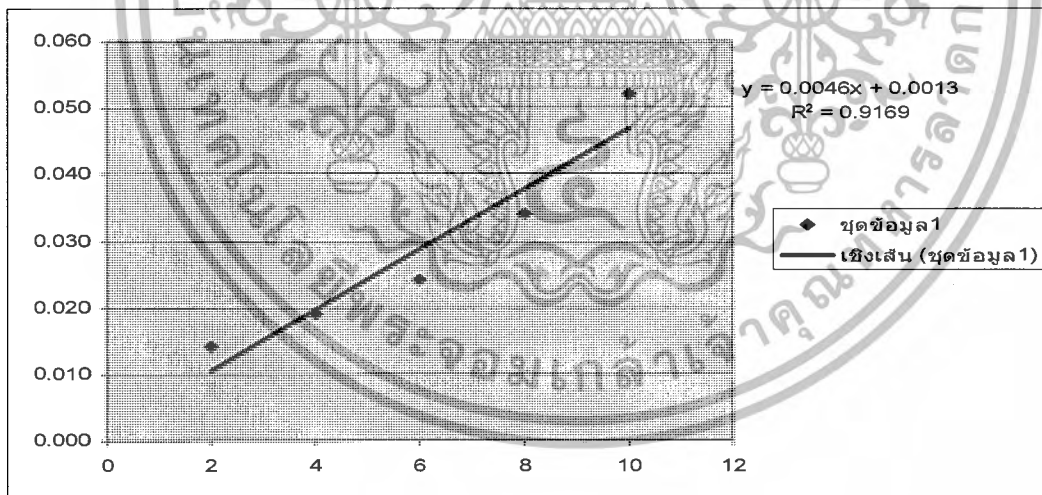


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.การคำนวณความเข้มข้นของไนเตรต

สารละลายมาตรฐาน ไนเตรต	ค่าการดูดกลืนแสง410nm
blank	0.000
2 μg	0.014
4 μg	0.019
6 μg	0.024
8 μg	0.034
10 μg	0.052
น้ำตัวอย่าง	0.040

นำไปพล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสง410nmกับสารละลายมาตรฐานไนเตรต



จากกราฟมาตรฐานได้สมการ $y = 0.0046x + 0.0013$ นำค่าการดูดกลืนแสงของน้ำตัวอย่าง คือ 0.040 มาแทนในค่า y ในสมการ ดังนี้

$$y = 0.0046x + 0.0013$$

$$0.040 = 0.0046x + 0.0013$$

$$x = 8.063 \mu\text{g}$$

ปริมาณของไนเตรตในน้ำเข้ระบบวันที่ 07/02/09 มีค่าเท่ากับ 8.063 μg

เนื่องจากปีเปลี่ยนน้ำตัวอย่างมา 10 ml. เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad \text{ความเข้มข้นของไนเตรต} &= \frac{8.063 \mu\text{g} \times 1000 \text{ml} \times 10^{-3} \mu\text{g}}{10 \text{ ml}} \\ &= \underline{0.86 \text{ mg/l}} \end{aligned}$$

2. การคำนวณความเข้มข้นของทีเคเอ็น

น้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ปริมาตรที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
blank	0.50
50	3.50
25	1.20
10	2.40
5	0.50

จากสูตร

$$\text{ทีเคเอ็น (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(A - B) \times 280}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

เมื่อ A = ปริมาตรของกรดซัลฟิวริกที่ใช้กับตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดซัลฟิวริกที่ใช้กับเบลนค์ (มิลลิลิตร)

ตัวอย่าง

เลือกน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{ทีเคเอ็น (มิลลิกรัมต่อลิตร)} &= \frac{(3.50 \text{ มิลลิลิตร} - 0.50 \text{ มิลลิลิตร}) \times 280 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}}{50 \text{ มิลลิลิตร}} \\ &= \underline{16.8 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การคำนวณความเข้มข้นของแอมโมเนีย

ตัวอย่างที่	ปริมาตรที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
blank	1.00
1	8.6
2	8.1
เฉลี่ย	8.35

จากสูตร

$$\text{แอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(A - B) \times 280}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

เมื่อ

A = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้กับตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้กับแบลนด์ (มิลลิลิตร)

ตัวอย่าง

เลือกน้ำตัวอย่างที่ 1

$$\begin{aligned} \text{แอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)} &= \frac{(8.35 \text{ มิลลิลิตร} - 1.00 \text{ มิลลิลิตร}) \times 280 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}}{500 \text{ มิลลิลิตร}} \\ &= \underline{4.12} \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

4. การคำนวณความเข้มข้นความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพ

DO ₀	Temp(°C)	DO ₅	Temp(°C)
8.3	30.2	7.1	29.5
8.2	30.2	7.2	29.4

$$\text{BOD (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{\text{DO}_0 - \text{DO}_5}{P}$$

เมื่อ BOD = ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี
(มิลลิกรัมต่อลิตร)

DO₀ = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำได้จากการวัดหรือ
การไทเทรตเมื่อเตรียมน้ำตัวอย่างเสร็จทันที

DO₅ = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำได้คำนวณจากการวัด
หรือการไทเทรตเมื่อบ่มครบ 5 วัน

P = สัดส่วนที่ทำการเจือจางน้ำ

ตัวอย่าง

$$\begin{aligned} \text{BOD (มิลลิกรัมต่อลิตร)} &= \frac{8.3 - 7.1}{5/100} \\ &= \underline{24} \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

5. การคำนวณประสิทธิภาพการกำจัด

ความเข้มข้นที่เคเอ็น (มิลลิกรัมต่อลิตร)						
ความลึก (ซม.)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	\bar{X}
น้ำเข้าระบบ	10.08	7.28	7.28	8.96	14.00	9.52
15	8.96	6.72	-	-	-	7.84

จากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)} = \frac{(A - B) \times 100}{A}$$

เมื่อ A = ความเข้มข้นน้ำเข้าระบบ (มก./ล.)

B = ความเข้มข้นน้ำออกจากระบบ (มก./ล.)

ตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึกชั้นที่ 15 เซนติเมตรครั้งที่ 1

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)} &= \frac{(10.08 - 8.96) \times 100}{10.08} \\ &= 11.11 \quad \% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้