

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวตั้ง



T107742



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...107742
วัน,เดือน,ปี...1.0. พ.ศ. 2553

b. 12210523
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Removal of Organic Substrates from Synthetic Wastewater
Using Vertical Constructed Wetland**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of
Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic year 2005**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวลิ่ง

นักศึกษา นางสาวสุทธิณี นาควิทยา
นางสาวแสงอรุณ พวกสุขสวัสดิ์
นางสาวอริยา เข้มพรายวงศ์


ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สุวรรณี จรรยาพูน
ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
กรรมการ อ.กณินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์	
กรรมการ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์	
กรรมการ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน	


(.....)

ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Removal of Organic Substrates from Synthetic Wastewater Using Vertical Constructed Wetland
Name	Sutthinee Narkwittaya Sangaroon Puaksuksawad Ariya Yamprivong
Department	Chemistry
Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2005
Special Project Advisor	Dr. Suwannee Junyapoon
Special Project co-advisor	Dr. Chalor Jarusutthirak

ABSTRACT

This special project studied on a removal of organic compounds in synthetic wastewater using Vertical Constructed Wetland. *Cyperus involucratus* Rottb., *Philodeodron* spp., *Echinodorus cordifolius* L. Griseb. and *Jasminum heliconia* spp. were used in studied. A control reactor was a reactor without plant. Reactor 1 contained four *Cyperus involucratus* Rottb. Reactor 2 contained four *Philodeodron* spp. Reactor 3 contained four *Echinodorus cordifolius* L. Griseb. Reactor 4 contained each of *Cyperus involucratus* Rottb., *Philodeodron* spp., *Echinodorus cordifolius* L. Griseb. and *Jasminum heliconia* spp. Biofilm was formed for three months using synthetic wastewater (COD:N:P = 200:20:2 mg/L). Later, the removal efficiency of each reactor was investigated for one month using synthetic wastewater (COD:N:P = 400:40:8 mg/L). The durability of plant in each reactor was also examined. It was found that Vertical Constructed Wetland could remove organic compounds and total phosphorus by degradation of microorganisms and adsorption on sand media. While plants were used as oxygen addition through their roots. This resulted in the increase number of aerobic bacteria in the reactor therefore organic compounds and total phosphorus was degraded faster than control reactor which contained mostly anaerobic bacteria. Total nitrogen was removed by degradation of microorganisms and consumption of plants. It was found that Reactor 1 was highest removal efficiency followed by Reactor 3 and Reactor 4. Reactor 2 was the worst removal efficiency.

Keywords: *Cyperus involucratus* Rottb., *Philodeodron* spp., *Echinodorus cordifolius* L. Griseb., *Jasminum heliconia* spp., Vertical Constructed Wetland

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมของโครงการพิเศษนี้ที่ให้คำปรึกษาในระหว่างดำเนินโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.อุสารัตน์ ภักดีสุข อาจารย์พิเศษ ชัยรัตน์อุทัย อาจารย์กัลสินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำ

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บริษัท คอนซัลแตนท์เซ็นเตอร์แอนด์แลป จำกัด ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในด้านวิธีการวิเคราะห์

ขอขอบพระคุณ คุณเกรียงกมล คุณวัฒน์กิจเจริญ คุณประกายธรรม สุขสถิตย์ และพี่ ๆ นักศึกษาปริญญาโททุกท่านที่ให้คำปรึกษา

สุทธิ นาควิทยา

แสงอรุณ พวงสุขสวัสดิ์

อริยา เข้มพรายวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ไทย)	ก
บทคัดย่อ (อังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
สัญลักษณ์คำย่อ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ระบบบึงประดิษฐ์	3
2.1.1 ประเภทของระบบบึงประดิษฐ์ที่แบ่งตามลักษณะและชนิดของพืชที่ใช้	3
2.1.2 ประเภทของระบบบึงประดิษฐ์ที่แบ่งตามลักษณะการไหลของน้ำเสีย	3
2.2 พืชที่ใช้ในระบบบึงประดิษฐ์	6
2.3 ตัวกลาง	6
2.4 จุลินทรีย์ในระบบบึงประดิษฐ์	7
2.5 กลไกการกำจัดมลสารในระบบบึงประดิษฐ์	7
2.5.1 การกำจัดสารอินทรีย์	7
2.5.2 การกำจัดของแข็งแขวนลอย	8
2.5.3 การกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด	8
2.5.4 การกำจัดฟอสฟอรัส	10
2.5.5 การกำจัดโลหะหนัก	11
2.5.6 การกำจัดเชื้อโรค	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 การกรองของชั้นดิน	11
2.6.1 คุณสมบัติทางกายภาพของดินและทราย	11
2.6.2 กลไกการบำบัดโดยการเกิดฟิล์มชีวภาพ	12
2.7 น้ำเสียชุมชน	12
2.7.1 ลักษณะน้ำเสีย	13
2.7.2 ลักษณะน้ำเสียจากอาคารประเภทต่าง ๆ	16
2.7.3 สมมูลประชากร	17
2.7.4 ผลกระทบของน้ำเสียชุมชนต่อสุขภาพอนามัย	18
2.8 พืชที่ใช้ในการทดลอง	19
2.8.1 ต้นกรั่ม	19
2.8.2 ต้นมรกตหยก	20
2.8.3 ต้นกอกเมฆอน	21
2.8.4 ต้นธรรมรักษา	22
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์	26
3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	26
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	26
3.2 แหล่งที่มาของน้ำเสีย	27
3.3 พืชที่ใช้ในการทดลอง	28
3.4 วิธีการทดลอง	28
3.4.1 ถังปฏิกรณ์ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง	28
3.4.2 ศึกษาความสามารถในการเจริญเติบโตและความทนทานต่อน้ำเสียของพืช ในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง	30
3.4.3 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยระบบ บำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสีย	32
4.2 ศึกษาความสามารถในการเจริญเติบโตและความทนทานต่อน้ำเสียของพืช ในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง	32
4.3 ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของ ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง	34
4.4 ผลของค่าการระงับสารอินทรีย์ (OLR) ต่อความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ ในน้ำเสียของพืชในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง	39
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก ก	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 อัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน	13
ตารางที่ 2.2 ปริมาณน้ำเสียจากอาคารประเภทต่าง ๆ	13
ตารางที่ 2.3 ลักษณะน้ำเสียชุมชน	15
ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างลักษณะน้ำเสียจากบ้านพักอาศัย	16
ตารางที่ 2.5 ค่าสมมูลประชากรแบ่งตามภาคต่าง ๆ	17
ตารางที่ 2.6 ลักษณะของน้ำเสียจากอาคารประเภทต่าง ๆ	18
ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบและความเข้มข้นน้ำเสียสังเคราะห์	27
ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย	31
ตารางที่ 4.1 ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนเข้าสู่ปฏิกรณ์	32
ตารางที่ 4.2 การเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดลอง	33
ตารางที่ 4.3 ค่าภาระการรองรับน้ำของถังปฏิกรณ์ทั้ง 5	39
ตารางที่ ก-1 จำนวนใบที่เปลี่ยนแปลงของพืชที่ใช้ในการทดลอง	48
ตารางที่ ก-2 ปริมาณค่าซีโอดี (mg/L) ของน้ำที่ออกจากระบบในแต่ละวัน	49
ตารางที่ ก-3 ปริมาณไนโตรเจนรวม (mg/L) ของน้ำที่ออกจากระบบในแต่ละวัน	50
ตารางที่ ก-4 ปริมาณฟอสฟอรัส (mg/L) ของน้ำที่ออกจากระบบในแต่ละวัน	51
ตารางที่ ก-5 ปริมาณการกำจัดซีโอดี (มิลลิกรัม) ของน้ำที่ออกจากระบบในแต่ละวัน เมื่อคำนึงถึงภาระการรองรับสารอินทรีย์ (OLR)	52
ตารางที่ ก-6 ปริมาณการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด (มิลลิกรัม) ของน้ำที่ออกจากระบบในแต่ละวัน เมื่อคำนึงถึงภาระการรองรับสารอินทรีย์ (OLR)	53
ตารางที่ ก-7 ปริมาณการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัม) ของน้ำที่ออกจากระบบในแต่ละวัน เมื่อคำนึงถึงภาระการรองรับสารอินทรีย์ (OLR)	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน	4
รูปที่ 2.2 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน	5
รูปที่ 2.3 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวตั้ง	5
รูปที่ 2.4 กลุ่มพืชโพล่พื้นน้ำ	6
รูปที่ 2.5 ต้นกกร่ม	19
รูปที่ 2.6 ต้นมรกตหยก	20
รูปที่ 2.7 ต้นกกอเมซอน	21
รูปที่ 2.8 ต้นธรรมรักษา	22
รูปที่ 3.1 ถึงปฏิกรณ์ของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำใต้ผิวดินแนวตั้ง	28
รูปที่ 3.2 กรวดชั้นบนสุดของระบบบึงประดิษฐ์	29
รูปที่ 3.3 ถึงควบคุมและถึงปฏิกรณ์ทั้ง 4	
(ก) ถึงควบคุม	30
(ข) ถึงปฏิกรณ์ที่ 1	30
(ค) ถึงปฏิกรณ์ที่ 2	30
(ง) ถึงปฏิกรณ์ที่ 3	30
(จ) ถึงปฏิกรณ์ที่ 4	30
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของถึงปฏิกรณ์ทั้ง 5	34
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของถึงปฏิกรณ์ทั้ง 5	36
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของถึงปฏิกรณ์ทั้ง 5	38
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ของถึงปฏิกรณ์ทั้ง 5	40
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของถึงปฏิกรณ์ทั้ง 5	40
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของถึงปฏิกรณ์ทั้ง 5	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ

BOD (Biochemical Oxygen Demand)	ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้จุลินทรีย์
COD (Chemical Oxygen Demand)	ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยใช้สารเคมี
CWS (Constructed Wetland System)	ระบบบึงประดิษฐ์
DO (Dissolved Oxygen)	ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ
FWS (Free Water Surface System)	ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน
HF (Horizontal Subsurface Flow)	บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวราบ
OLR (Organic Loading Rate)	ภาระการรองรับสารอินทรีย์ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่
HRT (Hydraulic Retention Time)	ระยะเวลาการกักเก็บน้ำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่
TKN (Total Kjeldahl Nitrogen)	สารอินทรีย์ไนโตรเจนทั้งหมด
SF (Subsurface Flow System)	บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน
TOC (Total Organic Carbon)	ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด
VF (Vertical Subsurface Flow)	บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันปัญหามลพิษทางน้ำในประเทศไทยนับเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มจำนวนประชากรอย่างรวดเร็วและขาดการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดี แหล่งกำเนิดของมลพิษทางน้ำสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ 1) น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยทั่วไปจะต้องผ่านกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งให้ได้มาตรฐานก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ และ 2) น้ำเสียชุมชน ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัด จากการศึกษาที่ปัจจุบันมีประชากรอาศัยอยู่กันอย่างหนาแน่นเพิ่มขึ้น ดังนั้น น้ำทิ้งจากชุมชนจึงเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำที่ก่อให้เกิดปัญหาในเมืองใหญ่ ปัจจุบันได้มีระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนตามเมืองใหญ่ ได้แก่ กรุงเทพมหานคร และมีกฎหมายกำหนดให้โรงแรมและโรงพยาบาลขนาดใหญ่ต้องมีการบำบัดน้ำทิ้งก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ โดยทั่วไป ระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้คือระบบ Activated sludge อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงและต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการบำบัด

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้หลักการกรองและดูดซับทางกายภาพของตัวกลางควบคู่กับกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ทั้งแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน โดยอาศัยรากพืชเป็นตัวพาออกซิเจน ให้แทรกลงไปในพื้นที่ตัวกลาง วิธีนี้เป็นวิธีที่อาศัยกระบวนการทางธรรมชาติในการบำบัด ดังนั้นจึงไม่ต้องใช้สารเคมี และใช้พลังงานเพียงเล็กน้อยในการเดินระบบ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายน้อย และเป็นระบบที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน โดยทั่วไป ระบบบึงประดิษฐ์เป็นแบบน้ำไหลแนวนอน (Horizontal constructed wetland) และมีการใช้พืชน้ำเพียงชนิดเดียว ต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ในการบำบัด ทำให้มีราคาแพง นอกจากนี้ยังหาพื้นที่ที่เหมาะสมได้ยากในเมืองใหญ่ การใช้พื้นที่ให้คุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุดจึงเป็นสิ่งจำเป็น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียชุมชนโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวตั้ง (Vertical Constructed Wetland) ที่ใช้พืชหลายชนิดในการบำบัดเพื่อประหยัดพื้นที่ในการสร้างระบบบำบัดและสามารถใช้เป็นสวนหย่อม ทำให้เกิดความสวยงามได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียชุมชนโดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง โดยใช้พืชชนิดเดียวและพืชหลายชนิด คือ ต้นกกร่ม ต้นมรกตหยก ต้นกกอมเขอน และ ต้นธรรมรักษา

1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1. ศึกษาการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 4 ชนิดในน้ำเสียสังเคราะห์
2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่งของพืชแต่ละชนิด (ต้นกกร่ม ต้นมรกตหยก และต้นกกอมเขอน) และพืช 4 ชนิด (ต้นกกร่ม ต้นมรกตหยก ต้นกกอมเขอน และต้นธรรมรักษา)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษ

1. ได้ระบบบำบัดน้ำเสียที่สามารถบำบัดน้ำทิ้งและให้ความสวยงาม สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นระบบบำบัดน้ำทิ้งตามหมู่บ้าน รีสอร์ท หรือ โรงแรม
2. เป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในท้องถิ่น
3. ลดการใช้เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียจากต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland System)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่เลียนแบบบึงธรรมชาติ แต่มีการกำหนดขนาดและชนิดของพืช ทิศทางการไหลของน้ำและระยะเวลาที่น้ำให้อยู่ในระบบเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด น้ำเสียจะถูกบำบัดด้วยกลไกร่วมกันทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี เช่น การตกตะกอน การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ การดูดซับโดยพืช เป็นต้น ระบบบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพในการบำบัดเทียบเท่ากับระบบบำบัดน้ำทิ้งอื่น ๆ และมีความยืดหยุ่นในการรับอัตราการปนเปื้อนที่เปลี่ยนแปลงได้ดี (Moshiri, 1993) แต่ต้องการพื้นที่มาก

โดยทั่วไป บึงประดิษฐ์มักสร้างให้มีลักษณะเป็นบึงที่มีคันดินสูงประมาณ 1 เมตร และปรับพื้นที่บริเวณก้นบึงให้ได้ระดับเสมอกันเพื่อขังน้ำ โดยพื้นดินจะต้องมีคุณสมบัติที่สามารถให้พืชน้ำยึดเกาะได้ดีและสามารถอุ้มน้ำไว้ได้ เมื่อทำการเตรียมบึงเสร็จ จึงนำพืชน้ำมาปลูกเพื่อใช้กำจัดมลสารออกจากน้ำเสีย (Hammer and Knight, 1992) โดยสามารถแบ่งประเภทของระบบบึงประดิษฐ์ตามชนิดของพืชที่ใช้หรือทิศทางการไหลของน้ำ ออกเป็น

2.1.1 ประเภทของระบบบึงประดิษฐ์ที่แบ่งตามลักษณะและชนิดของพืชที่ใช้

อาจแบ่งประเภทของบึงประดิษฐ์ตามพืชน้ำที่ใช้ได้เป็น 3 ประเภท (Brix, 1993) คือ

- 1) ประเภทใช้พืชที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำ (Free-floating macrophyte) เช่น จอก แหน ผักตบชวา
- 2) ประเภทใช้พืชที่ลอยอยู่ใต้น้ำ (Submerged macrophyte) เช่น สาหร่ายหางกระรอก
- 3) ประเภทใช้พืชที่มีรากอยู่ในดินและมีส่วนของลำต้น ดอก ใบ อยู่เหนือน้ำ (Emergent macrophyte) เช่น กก อ้อ ฐูปฤมาณี

หลังจากปลูกพืชแล้ว ในช่วงแรกของการปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบ ควรเจือจางน้ำเสียที่ต้องการบำบัดก่อนเข้าสู่ระบบเพื่อให้พืชมีการปรับตัวจนกระทั่งคุ้นเคยแล้วจึงปล่อยน้ำเสียปกติเข้าสู่ระบบเพื่อทำการบำบัดต่อไป ทั้งนี้อาจต้องมีการเก็บเกี่ยวพืชออกจากบึงตามระยะเวลาอันสมควร เพื่อไม่ให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ในระบบ โดยพืชที่เก็บเกี่ยวนี้ยังสามารถนำมาสร้างประโยชน์ได้อีก เช่น ใช้เป็นอาหารสัตว์ ใช้ทำผลิตภัณฑ์จักสาน ทำเป็นไม้ประดับ เป็นต้น

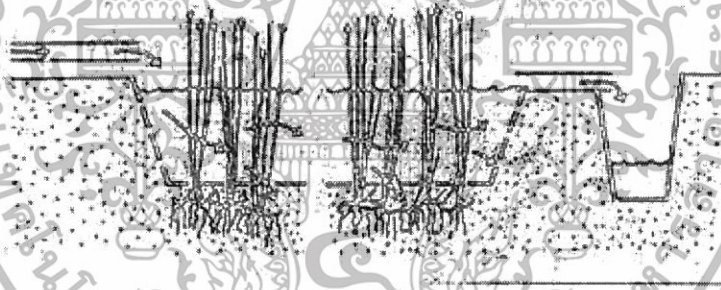
2.1.2 ประเภทของระบบบึงประดิษฐ์ที่แบ่งตามลักษณะการไหลของน้ำเสีย

สามารถแบ่งประเภทของบึงประดิษฐ์ ออกเป็น 2 ประเภท (Metcalf and Eddy, 1991) คือ

1) ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน (Free Water Surface System, FWS)

บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน ประกอบด้วย บ่อที่น้ำไหลซึมได้น้อย อาจมีหนึ่งบ่อถึงหลายบ่อวางเรียงกัน แต่ละบ่อมีความลึกประมาณ 10-60 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.1 การปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบควรปล่อยให้ไหลอย่างช้า ๆ ผ่านราก ลำต้น และใบพืช การเติมอากาศในระบบได้จากลมที่พัดและจากการสังเคราะห์แสงของพืช ระบบนี้เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีปานกลางคือ ไม่เกิน 6 กิโลกรัมของบีโอดี/(ตารางเมตร.วัน) เวลาพักเก็บควรอยู่ในช่วง 1-4 วัน และใช้ค่าการระบรทุกทางชลศาสตร์ 0.01-0.05 ลูกบาศก์เมตร/(ตารางเมตร.วัน) (เกรียงศักดิ์, 2539)

การออกแบบมักสร้างเป็นบึงที่มีลักษณะแคบและยาว เพื่อให้การบำบัดน้ำเสียเป็นไปในลักษณะตามยาว (Plug flow) ใช้พืชในกลุ่มที่มีรากในดินและมีส่วนโผล่พ้นน้ำ (Emergent plant) การกำจัดมลสารเกิดบริเวณส่วนรากของพืชบริเวณใต้น้ำและซากพืชบริเวณหน้าดินซึ่งจะเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายมลสารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และเพื่อป้องกันมิให้น้ำเสียมีการรั่วซึมออกไปปนเปื้อนกับน้ำในแหล่งน้ำอื่น ๆ ควรปูพื้นบ่อด้วยวัสดุกันซึม



รูปที่ 2.1 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน (Brix, 1993)

2) ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow System, SF)

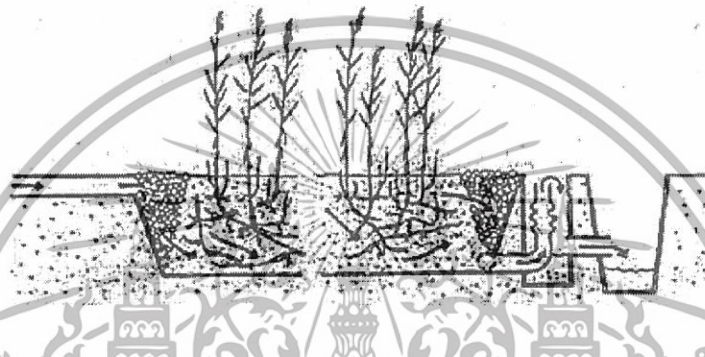
บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน จะบรรจุตัวกลางสำหรับให้รากพืชยึดเกาะลงไปในบ่อดินตัวกลางที่เหมาะสมได้แก่ หินบด กรวด ทราบ ดิน โดยบรรจุให้มีความหนาของชั้นตัวกลางประมาณ 60-70 เซนติเมตร ปูพื้นบ่อด้วยวัสดุกันซึม เช่น แผ่นพอลิเอทิลีน (Polyethylene; PE) หรือลาดพื้นบ่อด้วยดินเหนียวเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำเสียออกจากบ่อ ปรับให้ก้นบ่อมีความลาดชันประมาณ 1 % เพื่อให้น้ำไหลไปยังทางน้ำออกได้สะดวก บริเวณทางน้ำออกมีท่อเจาะรูทำหน้าที่รวบรวมน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากระบบ กลไกในการบำบัดจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำเสียไหลผ่านตัวกลางในสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic condition) และไหลผ่านรากพืช ระบบนี้อาศัยการเติมอากาศโดยรากพืชเป็นหลัก ออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่แทรกผ่านตัวกลางตามรากพืชจะช่วยในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณดังกล่าว ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำหน้าที่ในการบำบัดน้ำเสีย บึงประดิษฐ์แบบนี้สามารถแยกย่อยออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1) บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน (Horizontal subsurface flow, HF)

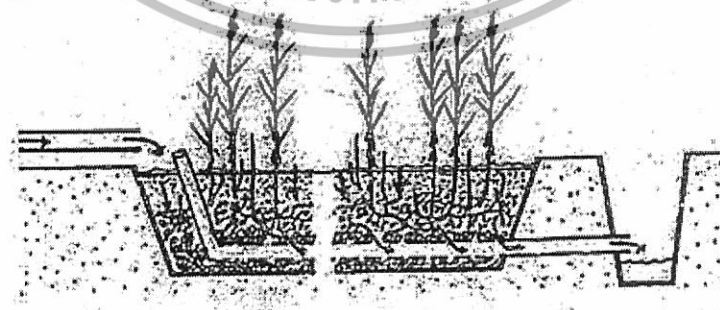
นิยมใช้พืชในกลุ่มโพลีพืชน้ำ การออกแบบทางน้ำเข้าและออกจะต้องให้น้ำเสียไหลผ่านตัวกลางอย่างช้า ๆ ในแนวนอน โดยจะกระจายเข้าสู่ระบบตลอดความกว้างบ่อและวางท่อรวบรวมน้ำออกจากระบบตลอดความกว้างของบ่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวนอน (Brix, 1993)

2.2) บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวตั้ง (Vertical subsurface flow, VF)

นิยมใช้พืชในกลุ่มโพลีพืชน้ำ การออกแบบทางน้ำเข้าและออกจะต้องทำให้น้ำเสียเกิดการไหลผ่านตัวกลางอย่างช้า ๆ ในแนวตั้ง โดยกระจายน้ำเข้าสู่ระบบเต็มพื้นที่ด้านบนของบ่อและวางท่อรวบรวมน้ำและออกจากระบบกระจายเต็มพื้นที่ด้านล่างบ่อ แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวตั้ง (Brix, 1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 พืชที่ใช้ในระบบบึงประดิษฐ์

โดยมากนิยมใช้พืชกลุ่มที่โผล่พ้นน้ำ (Emergent macrophyte) คือมีใบและลำต้นอยู่เหนือผิวดิน และสัมผัสอากาศ มีรากเจริญเติบโตอยู่ใต้ดินที่มีระดับน้ำประมาณ 50-150 เซนติเมตร เช่น ชูปฤายี่ (Cattail : Typha), กก (Bulrush : Scirpus), อ้อ (Reed : Phargmites) ดังแสดงในรูปที่ 2.4

เหตุผลที่เลือกใช้พืชชนิดเหล่านี้ เนื่องจาก

1. มีรากยาว เพื่อเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ และสามารถแทรกไปยังที่ว่างของช่องหิน ไปสัมผัสน้ำได้
2. สามารถเติบโตได้ในน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง

ออกซิเจนในอากาศจะเข้าสู่พืชทางใบและถ่ายเทไปยังรากโดยการแพร่ (Diffusion) และการไหลพาของอากาศ (Convective) ออกซิเจนบางส่วนจะถูกปล่อยออกมาบริเวณรอบรากพืชทำให้เกิดสภาพมีออกซิเจน ช่วยเสริมประสิทธิภาพในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และเพิ่มความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของตะกอนอีกด้วย (Cooper and Boom, 1987)



รูปที่ 2.4 กลุ่มพืช โผล่พ้นน้ำ (Emergent Macrophyte) (Campbell and Ogden, 1999)

2.3 ตัวกลาง

วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางในระบบบึงประดิษฐ์ โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ ดินที่มีสารอินทรีย์สูง (Organic or Peat Soil) เช่น ดินเหนียว โคลน เป็นต้น ดินชนิดนี้มีเม็ดดินที่ละเอียด มีความพรุนน้อย อุ้มน้ำได้ดี มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดี แต่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้น้อย จึงนิยมใช้กับระบบน้ำไหลบนผิวดิน ส่วนตัวกลางอีกชนิดหนึ่งคือ ดินที่เป็นองค์ประกอบของแร่ธาตุ (Mineral soil) เช่น ทราย กรวด เป็นต้น ตัวกลางชนิดนี้มีช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (void) อากาศสามารถผ่านช่องว่างเหล่านี้ลงสู่ด้านล่างได้ จึงนิยมใช้กับระบบน้ำไหลใต้ผิวดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 จุลินทรีย์ในระบบบึงประดิษฐ์

ในระบบบึงประดิษฐ์พบจุลินทรีย์หลายชนิด เช่น แบคทีเรีย (Bacteria) รา (Fungi) และแอคติโนมัยซีต (Actinomycetes) จุลินทรีย์จะอยู่บริเวณรอบ ๆ รากพืช และผิวของเม็ดตัวกลาง แต่ในระบบที่มีระดับน้ำเหนือผิวดินจะพบจุลินทรีย์บริเวณลำต้นพืชส่วนที่อยู่ใต้น้ำและในน้ำเสียด้วย จุลินทรีย์ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยทำงานสัมพันธ์กับพืช

2.5 กลไกการกำจัดมลสารในระบบบึงประดิษฐ์

การกำจัดมลสารในระบบบึงประดิษฐ์ประกอบด้วยกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ที่ทำงานสัมพันธ์กัน กลไกหลักที่พบได้แก่ การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Biochemical Conversions) การตกตะกอนและการกรอง (Settling and Filtration) การสะสมในดิน (Accretion) การระเหย (Volatilization) การดูดซับ (Adsorption) การระเหยคายใบ (Evapotranspiration) และการนำไปใช้โดยพืช (Plant uptake)

2.5.1 การกำจัดสารอินทรีย์

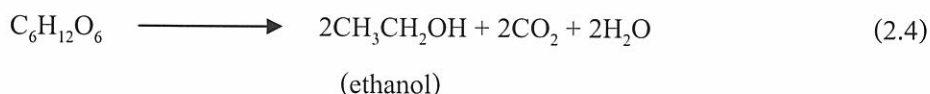
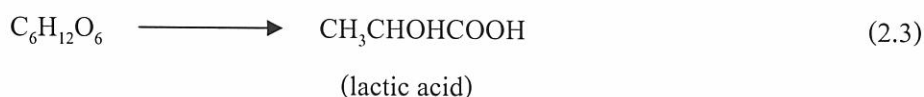
สารอินทรีย์ที่สามารถตกตะกอนได้จะถูกกำจัดอย่างรวดเร็วโดยกระบวนการตกตะกอนและการกรอง ส่วนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้จะถูกกำจัดโดยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทั้งที่แขวนลอยในน้ำและที่ยึดติดกับตัวกลางในระบบ กระบวนการย่อยสลายเป็นไปทั้งแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน โดยออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มาจากการแพร่ผ่านจากบรรยากาศและจากระบบรากพืช สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์โดยการนำไปใช้ของพืชนั้นถือเป็นส่วนน้อยเมื่อเทียบกับการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Watson และคณะ, 1989 และ Cooper และคณะ, 1996) การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ทั้งกลุ่มเฮเทอโรโทรฟ (Heterotrophic bacteria) และกลุ่มออโตโทรฟ (Autotrophic bacteria) ดังสมการที่ 2.1



ในสภาพที่มีออกซิเจนมากเพียงพอ จุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟจะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วกว่าจึงเป็นตัวการสำคัญในการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบ (Vymazal, 1998)

การย่อยสลายแบบสารอินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจน เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลายขั้นตอน โดยจุลินทรีย์กลุ่มแฟคัลทาทิว (Facultative bacteria) ในขั้นตอนแรกสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น คือ กรดไขมัน เช่น กรดอะซิติก ดังแสดงในสมการที่ 2.2 กรดบิวทิริกและกรดแลคติก ในสมการที่ 2.3 และแอลกอฮอล์ในสมการที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ในขั้นต่อมา สารผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนแรกจะถูกย่อยสลายโดย Sulfate-reducing bacteria ดังสมการที่ 2.5 และโดย Methane-forming bacteria ดังสมการที่ 2.6 และ 2.7



ในขั้นที่สร้างมีเทนช่วงพีเอชที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6.5 – 7.5 หากการย่อยสลายในขั้นแรกเกิดขึ้นเร็วจะทำให้พีเอชต่ำเกินไป แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะหยุดการทำงาน โดยสังเกตได้จากกลิ่นเหม็นเปรี้ยวที่เกิดขึ้น

โดยทั่วไป การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นเร็วกว่า แต่ในสภาพที่มีสารอินทรีย์สูงและมีออกซิเจนจำกัด กระบวนการแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีบทบาทมากกว่า (Cooper และคณะ, 1996)

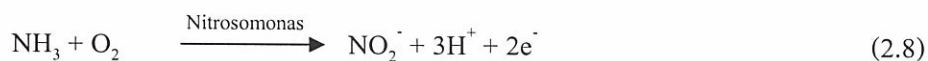
2.5.2 การกำจัดของแข็งแขวนลอย

ของแข็งที่สามารถตกตะกอนได้จะถูกกำจัดโดยกระบวนการตกตะกอนและการกรองภายในบริเวณไม่ไกลจากจุดที่ปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบ โดยเฉพาะบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินตะกอนที่สะสมอยู่อาจทำให้ระบบอุดตันได้ (Vymazal, 1998) ของแข็งที่ไม่ตกตะกอนจะถูกกำจัดในบริเวณต่อมาด้วยการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และการดูดซับผิว เช่น ส่วนของพีช ดิน ทราย รวมทั้งการรวมตัวของกลุ่มตะกอน (Stowell และคณะ, 1981)

2.5.3 การกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด

การกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเกิดจากกระบวนการหลักที่เรียกว่า ไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน โดยไนตริฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนไนโตรเจนทั้งหมดที่อยู่ในรูปแอมโมเนียไปเป็นไนโตรเจนทั้งหมดในรูปไนเตรทภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ดังสมการ 2.8 และ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ปัจจัยควบคุมกระบวนการไนตริฟิเคชันคือ อุณหภูมิ พีเอช ความเป็นค่าของน้ำ ปริมาณออกซิเจน ความหนาแน่นของจุลินทรีย์ ปริมาณแอมโมเนียใน ไตรเจนทั้งหมดและออกซิเจนละลายน้ำ (Vymazal, 1998) โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 25-40 องศาเซลเซียส ช่วงพีเอชที่เหมาะสมคือ 6.8-7.5 และต้องการออกซิเจนละลายน้ำ 4.3 มิลลิกรัมต่อ 1 มิลลิกรัมของการเปลี่ยนแอมโมเนียใน ไตรเจนทั้งหมดเป็นไนเตรทใน ไตรเจนทั้งหมด (Cooper และคณะ, 1996)

ดีไนตริฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนไนโตรทไน ไตรเจนทั้งหมดให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนทั้งหมด จะเกิดได้ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนละลายน้ำ ดังสมการ 2.10



การกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดโดยทั้งสองกระบวนการนี้เกิดขึ้นในระบบที่มีออกซิเจนร่วมกับไม่มีออกซิเจน เช่น ดินที่มิน้ำท่วมขัง

การเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia Volatilization) เป็นการเปลี่ยนแอมโมเนียใน ไตรเจนทั้งหมดไปเป็นแอมโมเนียไอออน ซึ่งจะมีการเปลี่ยนกลับไปกลับมาขึ้นอยู่กับพีเอช ที่พีเอช 9.3 อัตราส่วนระหว่างแอมโมเนียกับแอมโมเนียมไอออนจะเป็น 1:1 ทำให้สามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้มาก กระบวนการนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับพีเอชและความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนในน้ำแล้ว ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเร็วลม แสงแดด พืช และความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำอีกด้วย (Vymazal, 1998)

แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) เป็นการเปลี่ยนไนโตรเจนทั้งหมดในสารอินทรีย์ซึ่งพบในรูปกรดอะมิโนให้เป็นแอมโมเนีย โดยจุลินทรีย์และใช้พลังงานที่ได้จากการเกิดแอมโมนิฟิเคชันมาใช้ในการเจริญเติบโต ส่วนไนโตรเจนทั้งหมดในรูปยูเรียและกรดยูริกจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นแอมโมเนีย ดังสมการ 2.11



อัตราการเกิดกระบวนการนี้จะลดลงตามปริมาณออกซิเจน และขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 40-60 องศาเซลเซียส และพีเอชที่เหมาะสมคือ 6.5-8.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำไปใช้โดยพืชเป็นการเปลี่ยนไนโตรเจนทั้งหมดในรูปแอมโมเนียและไนเตรทไปเป็นสารอินทรีย์ในเซลล์ของพืช อัตราการนำไปใช้ถูกจำกัดโดยอัตราการเจริญเติบโตของพืชและความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อพืช เมื่อพืชตายไนโตรเจนทั้งหมดจะถูกปล่อยกลับสู่ระบบ ดังนั้น จึงควรมีการเก็บเกี่ยวพืชเป็นระยะ

การดูดซับเป็นการกำจัดแอมโมเนียมไอออนที่มีประจุบวกด้วยการดูดซับกับประจุลบของซากพืช สารอินทรีย์ที่ตกตะกอนและตัวกลาง แต่เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนลดลงก็จะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเพื่อปรับให้ระบบสมดุล ในระบบที่มีการจ่ายน้ำเสียแบบต่อเนื่องจะเกิดปฏิกิริยากลับไปกลับมาทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนไม่ลดลง แต่ในระบบที่จ่ายน้ำเสียแบบไม่ต่อเนื่องพบว่า ในช่วงที่ไม่จ่ายน้ำเสียความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนลดลงอย่างรวดเร็วจากการถูกดูดซับ (Vymazal, 1998) และแอมโมเนียมไอออนที่ถูกดูดซับจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรตต่อไป

2.5.4 การกำจัดฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสที่ปรากฏในน้ำเสียมักอยู่ในรูปออร์โทฟอสเฟต พอลิฟอสเฟต และฟอสเฟตในรูปสารอินทรีย์ (Cooper และคณะ, 1996) ฟอสฟอรัสจะมีการเปลี่ยนรูปกลับไปมาระหว่างรูปอนินทรีย์และอินทรีย์ แต่มีสถานะวาเลนซ์ +5 เท่านั้น (Richardson, 1985) กลไกหลักในการกำจัดฟอสฟอรัสในระบบบึงประดิษฐ์ ได้แก่ การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Biological oxidation) การดูดติด (Adsorption) การดูดซึมโดยพืช (Plant absorption) การเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complexation) และการตกตะกอนผลึก (Precipitation) (Watson และคณะ, 1989)

จุลินทรีย์บางชนิดสามารถแปลงรูปอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำเป็นออร์โทฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ ในขณะที่จุลินทรีย์อีกกลุ่ม เช่น แบคทีเรีย (เช่น *Bacillus subtilis*, *Arthrobacter* spp.) แอกทิโนมัยซีต (เช่น *Streptomyces* spp.) และฟังไจ (เช่น *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp.) สามารถเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้เป็นออร์โทฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้เช่นกัน (Bitton, 1994) ออร์โทฟอสเฟตนี้จะถูกทั้งแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ใช้เป็นธาตุอาหารต่อไป สำหรับฟอสฟอรัสในรูปที่ไม่ละลายน้ำและสะสมอยู่ในตะกอนดินก้นบึงจะถูกจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งเปลี่ยนให้อยู่ในรูปอินทรีย์ฟอสเฟตที่ละลายน้ำซึ่งพืชชั้นสูงสามารถนำไปใช้ต่อ

กลไกการดูดติดและระยะเวลาการกักเก็บฟอสฟอรัสในบึงประดิษฐ์ถูกควบคุมโดย Redox Potential พีเอช ปริมาณธาตุเหล็ก อลูมิเนียม แคลเซียม และธรรมชาติของตะกอนดินก้นบึง (Faulkner and Richardson, 1989 และ Richardson and Vaithyanathan, 1995) ในดินที่เป็นกรดฟอสฟอรัสจะถูกดูดติดโดยสารประกอบออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม แล้วตกตะกอนผลึกเป็นเหล็กฟอสเฟต (Fe-P) และอลูมิเนียมฟอสเฟต (Al-P) แต่ที่พีเอชสูงกว่า 7 จะเกิดตะกอนผลึกของแคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P) มากกว่า (Qualls and Richardson, 1995) ความสามารถในการดูดติดฟอสฟอรัสของตะกอนดินสามารถประมาณได้จากปริมาณอลูมิเนียมในตะกอนดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Richardson, 1985) ที่ Redox potential ต่ำกว่า 250 มิลลิโวลต์ จะทำให้ Fe^{3+} เปลี่ยนเป็น Fe^{2+} แล้วปล่อย ฟอสฟอรัสออกมา (Faulkner and Richardson, 1989) แต่กลับทำให้ลูมิเนียมและเหล็กอยู่ในรูปผลึกที่ไม่ละลายน้ำและดูดติดฟอสฟอรัสได้ดีขึ้น (Patrick and Khalid, 1974) กลไกสำคัญก็คือ ปฏิกิริยาการเปลี่ยนลิแกนด์ (Ligan Exchange Reaction) (Faulkner and Richardson, 1989) โดยฟอสเฟตจะเข้าไปแทนที่น้ำที่อยู่ในสารประกอบออกไซด์ของเหล็กและลูมิเนียม (Cooper และคณะ, 1996) แต่ก็ยังไม่ชัดเจนว่าระหว่างการตกตะกอนผลึกกับการเปลี่ยนลิแกนด์ กลไกใดเป็นกลไกหลักในการกำจัดฟอสฟอรัส

พืชจะดูดซึมฟอสฟอรัสผ่านทางรากแล้วลำเลียงไปใช้สร้างเนื้อเยื่อต่อไป แต่ก็มีปริมาณต่ำเมื่อเทียบกับการดูดซึมไนโตรเจนทั้งหมด สืบเนื่องจากปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชต่ำกว่าไนโตรเจนทั้งหมด (Brix, 1994 และ Vymazal, 1998) เพื่อให้มีการกำจัดฟอสฟอรัสออกจากระบบ ดังนั้นจะต้องมีการเก็บเกี่ยวพืชโดยเฉพาะพืชกลุ่มลอยน้ำเพื่อไม่ให้ฟอสฟอรัสถูกปล่อยสู่ระบบเมื่อพืชตายลง

2.5.5 การกำจัดโลหะหนัก

โลหะพบในรูปสารละลายและองค์ประกอบของของแข็ง กลไกหลักในการกำจัดคือการถูกดูดซับโดยดิน การตกตะกอนเคมีในรูปของเกลือซึ่งมักเกิดร่วมกับการกำจัดฟอสฟอรัสและการดูดซับของพืช (Watson, 1999) กลไกเหล่านี้เกิดได้ดีกับโลหะที่สามารถตกตะกอนได้

2.5.6 การกำจัดเชื้อโรค

การกำจัดเชื้อโรคในระบบประกอบด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การตกตะกอน การกรอง และการถูกทำลายโดยรังสีอัลตราไวโอเลต วิธีทางเคมี ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน การดูดซับโดยอินทรีย์วัตถุ และสารพิษที่พืชบางชนิดปล่อยออกมา ส่วนวิธีทางชีวภาพประกอบด้วย การตายตามธรรมชาติ (Natural Die-off) การกินกันเอง (Predation) และสารปฏิชีวนะที่สิ่งมีชีวิตอื่นปล่อยออกมา

2.6 การกรองของชั้นดิน (Soil Filtration) (จรงค์ย์, 2530)

2.6.1 คุณสมบัติทางกายภาพของดินและทราย

คุณสมบัติทางกายภาพของทรายสามารถสังเกตได้จากลักษณะภายนอกของเนื้อดินและพฤติกรรมบางประการที่ดินแสดงออก ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชและอัตราการไหลซึมของน้ำ สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของทราย ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อนุภาคของกลุ่มดินที่ต่างกันจะทำให้ดินมีลักษณะที่แตกต่างกัน หากดินมีกลุ่มขนาดอนุภาคของทรายอยู่เป็นจำนวนมาก จะทำให้ร่วนซุย ไม่เกาะกันเป็นก้อน น้ำซึมผ่านได้ง่ายและมีอัตราการระเหยน้ำจากดินที่สูง ทรายจะมีความพรุนของดินเท่ากับร้อยละ 30 – 40 และมีความสามารถในการซึมได้ 3.4 – 3,400 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งความพรุนของดินมีความสำคัญต่อคุณภาพของน้ำและปริมาณของน้ำในดินเป็นอย่างมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะความพรุนของดินจะกำหนดปริมาณน้ำที่เก็บอยู่ในดินนั้น และความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในดิน จะบ่งบอกอัตราที่น้ำเคลื่อนที่ผ่านชั้นดินไปได้

2.6.2 กลไกการบำบัดโดยการเกิดฟิล์มชีวภาพ

ส่วนที่เป็นของแข็งของดินโดยปกติจะมีปริมาตรร้อยละ 40 - 70 ของปริมาตรรวมทั้งหมดของดิน ถ้าส่วนที่เหลือบรรจุด้วยน้ำจนเต็ม เรียกว่า ดินนั้นอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated) แต่โดยปกติที่ว่างส่วนที่ไม่ได้เป็นของแข็งจะมีน้ำและอากาศที่มีไอน้ำบรรจุอยู่ในสภาพนี้เรียกว่า ดินไม่อิ่มตัว (Unsaturated) ทำให้น้ำในดินอยู่ในรูปฟิล์มชีวภาพ (biofilm) รอบอนุภาคของแข็ง โดยอนุภาคดินจะถูกคูดด้วยแรงดึงดูดจาก 2 แหล่ง คือ (1) จาก Hydrogen bonding ซึ่งเป็นการดึงดูดซึ่งกันและกันระหว่างออกซิเจนอะตอมภายในโมเลกุลของน้ำ และออกซิเจนอะตอมของผิวอนุภาคดินกับไฮโดรเจนอะตอมของน้ำ และ (2) จาก Hydration ของไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ ภายในฟิล์มที่ห่อหุ้มดินจะเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตพวกจุลินทรีย์ ที่หายใจจากออกซิเจนที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเนื้อดินกับน้ำ หรือพวกที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการหายใจ และทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อนำไปใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อ ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำมีค่าลดลง และปริมาณออกซิเจนที่นำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) มีค่าเพิ่มขึ้น รวมถึงการดูดซับหรือดึงสารอาหารต่างๆ จากน้ำโดยจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช

2.7 น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater)

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่างๆ มากมาย จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการและน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์อีกต่อไป หรือถ้าปล่อยลงสู่ลำน้ำธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพน้ำของธรรมชาติเสียหายได้

น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือน และอาคารประเภทต่างๆ เป็นต้น

ปริมาณน้ำเสีย ที่ปล่อยทิ้งจากบ้านเรือน อาคาร จะมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้หรืออาจประเมินได้จากจำนวนประชากรหรือพื้นที่อาคาร ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และปริมาณน้ำเสียจากอาคารประเภทต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 อัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน

ภาค	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตรต่อคนต่อวัน)					
	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

ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม (2538)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณน้ำเสียจากอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทอาคาร	หน่วย	ลิตรต่อวันต่อหน่วย
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

ที่มา : สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2536)

2.7.1 ลักษณะน้ำเสีย

เกิดจากบ้านพักอาศัยประกอบไปด้วยน้ำเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน ซึ่งมีองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ลักษณะน้ำเสียชุมชนทั่วไป

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น		
		น้อย	ปานกลาง	มาก
1.ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)		350	720	1200
- ของแข็งละลายน้ำ (Dissolved Solids)	มก./ล	250	500	850
- ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)		100	220	350
2.ปริมาณตะกอนหนัก (Settleable Solids)	มล./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	1000
5.ไนโตรเจนทั้งหมด (Total as N)		20	40	85
- อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic)		8	15	35
- แอมโมเนีย (Free ammonia)	มก./ล.	12	25	50
- ไนไตรท์ (Nitrites)		0	0	0
- ไนเตรท (Nitrate)		0	0	0
6.ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total as P)		4	8	15
- สารอินทรีย์ (Organic)	มก./ล.	1	3	5
- สารอนินทรีย์ (Inorganic)		3	5	10
7. คลอไรด์ (Chloride) ⁽¹⁾	มก./ล.	30	50	100
8.ซัลเฟต (Sulfate) ⁽¹⁾	มก./ล.	20	30	50
9.สภาพด่าง (Alkalinity as CaCO ₃)	มก./ล.	50	100	200
10.ไขมัน (Grease)	มก./ล.	50	100	150
11.Total Coliform	MPN/100ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹

หมายเหตุ : (1) เป็นค่าที่เพิ่มจากค่าที่ตรวจพบในน้ำใช้ปกติ

ที่มา : Metcalf and Eddy (1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างลักษณะน้ำเสียจากบ้านพักอาศัย

พารามิเตอร์	น้ำเสียจากส้วม	จากห้องอาบน้ำ		จากการซักผ้า		จากครัว	
		ชักอาน	ฝักบัว	ด้วยมือ	ด้วยเครื่อง	ผ่านตะแกรง	ไม่ผ่าน
pH	7.7	7.1	7.0	7.2	7.7	7.2	6.3
COD (mg/l)	1,500	230	400	200	560	960	2,900
BOD (mg/l)	700	120	260	70	150	540	1,800
TKN (mg/l)	300	8	38	14	12	18	120
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	24	6	1	10	24	13	90
SS (mg/l)	560	45	80	60	55	210	1,200
FOG (mg/l)	540	400	480	500	520	500	2,700

ที่มา : ธงชัย พรธนะสวัสดิ์ และคณะสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2530)

2.7.2 ลักษณะน้ำเสียจากอาคารประเภทต่าง ๆ

1. พีเอช (pH) เป็นค่าที่บอกถึงความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเสีย โดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตในน้ำหรือจุลินทรีย์ในถังบำบัดจะดำรงชีพได้ดีในสภาวะเป็นกลาง คือ พีเอช ประมาณ 6 – 8
2. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ถ้าค่าบีโอดีสูงแสดงว่าความต้องการออกซิเจนสูง นั่นคือมีความสกปรกหรือสารอินทรีย์ในน้ำมาก
3. ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids) หมายถึงปริมาณสารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ทั้งในลักษณะที่ไม่ละลายน้ำและที่ละลายน้ำ (Dissolved Solids) ของแข็งบางชนิดมีน้ำหนักเบาและแขวนลอยอยู่ในน้ำ (Suspended Solids) บางชนิดหนักและจมตัวลงเบื้องล่าง (Settle able Solids) ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำนี้อาจสร้างปัญหาในการอุดตันเครื่องเติมอากาศ และถ้าปล่อยทิ้งในปริมาณมากจะทำให้เกิดความสกปรกและตื้นเขินในลำน้ำธรรมชาติ ตลอดจนบดบังแสงแดดที่ส่องลงสู่ท้องน้ำ
4. ไนโตรเจน (Nitrogen) เป็นธาตุจำเป็นในการสร้างเซลล์ ของสิ่งมีชีวิต ไนโตรเจนจะเปลี่ยนสภาพเป็นแอมโมเนีย ถ้าหากในน้ำมีออกซิเจนพอเพียงก็จะถูกย่อยสลายไปเป็นไนไตรต์และไนเตรท ดังนั้นการปล่อยน้ำเสียที่มีสารประกอบไนโตรเจนสูงจึงทำให้ออกซิเจนที่มีอยู่ในลำน้ำลดน้อยลง
5. ไขมันและน้ำมัน (Fat, Oil, and Grease) ส่วนใหญ่ ได้แก่ น้ำมันและไขมันจากพืชและสัตว์ที่ใช้ในการทำอาหาร สบู่จากการอาบน้ำ ฟองสารซักฟอกจากการชำระล้าง สารเหล่านี้มีน้ำหนักเบาและลอยน้ำ ทำให้เกิดสภาพไม่น่าดูและขวางกั้นการซึมของออกซิเจนจากอากาศสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังมีค่าบีโอดีสูงเพราะเป็นสารอินทรีย์
6. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) คือค่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ด้วยวิธีการทางเคมี มักใช้เทียบหาค่าบีโอดีโดยคร่าวๆ ปกติ COD: BOD ของน้ำเสียชุมชนประมาณ 2 – 4

เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างลักษณะน้ำเสียจากบ้านพักอาศัย และจากอาคารบ้านเรือนประเภทต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.5 ลักษณะของน้ำเสียจากอาคารประเภทต่างๆ

ลักษณะ	หอพัก		ภัตตาคาร		โรง พยาบาล	ตลาด สด	อาคาร สำนักงาน		สถาน บริการ อบ อบ ขนาด*	ห้าง สรรพ สินค้า	โรง ภาพยนตร์	โรงแรม	อาคาร ชุด (คอนโด มิเนียม)
	จาก ส่วน อื่น ๆ	จาก ส่วน อื่น ๆ	จาก บำบัด แล้ว, ครัว และ อื่น ๆ	จาก ครัว และ อื่น ๆ			จาก ส่วน อื่น ๆ	จาก ครัว และ อื่น ๆ					
pH	8.55	7.78	6.54	6.74	6.84	6.67	8.10	7.4	6.6	7.51	7.53	7.05	7.20
COD(mg/l)	1,290	135	1,785	3,164	350	2,528	392	96	117	253	110	311	221
BOD(mg/l)	723	75	919	1,759	238	1,172	181	41	55	81	60	190	151
TKN(mg/l)	329	19.2	55.1	63.2	15.2	76.5	44.1	9.7	14.1	66.8	72.7	23	33.7
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	6.8	3.9	3.2	2.6	3.29	5.1	2.0	0.4	14.7	10.1	2.7	1.8	2.0
SS (mg/l)	666	29	401	913	87.06	662	158	26	17.1	61	45	84	63
FOG(mg/l)	377	41.1	1,136	1,570	631	897	455	527	452.86	577	219	563	473

* บำบัดมาแล้วบางส่วน

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2530)

2.7.3 สมมูลประชากร

คือ ค่าความสกปรกหรือมลสารในรูปสารอินทรีย์ที่วัดได้โดยหน่วยวัดบีโอดี อันเกิดจากการดำเนินชีวิตของคน ๆ หนึ่ง และสามารถหาได้จากสูตร

สมมูลประชากร

= บีโอดีในน้ำเสีย (กรัม/ลิตร) x ปริมาณน้ำเสียที่คน ๆ หนึ่งผลิตออกมาต่อวัน (ลิตร/คน/วัน)

= บีโอดี เป็น กรัม/คน-วัน

ค่าสมมูลประชากรตามภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าสมมูลประชากรแบ่งตามภาคต่าง ๆ

ภาค	ค่าสมมูลประชากร (กรัม บีโอดีต่อคนต่อวัน)				
	2540	2545	2550	2555	2560
กลาง	30	34	36	38	40
เหนือ	30	34	36	38	40
ตะวันออกเฉียงเหนือ	35	40	43	47	50
ใต้	35	38	42	46	50

ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม 2538

2.7.4 ผลกระทบของน้ำเสียชุมชนต่อสุขภาพอนามัย

โดยทั่วไปเชื้อโรคที่พบในน้ำเสียที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ได้ มี 4 ชนิด คือ แบคทีเรีย ไวรัส โปรโตซัว และพยาธิ โดยมีสาเหตุมาจากอุจจาระของมนุษย์ปนมากับน้ำเสีย โรคติดเชื้อมาจากสิ่งขับถ่ายสามารถติดต่อสู่คน มี 2 วิธี คือ เกิดจากเชื้อโรคที่อยู่ในสิ่งขับถ่ายของบุคคลหนึ่งแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมแล้วเข้าสู่บุคคลอื่น และเกิดจากเชื้อโรคจากสิ่งขับถ่ายเข้าทางปาก โดยที่สัตว์พาหะ เช่น หนู หรือแมลงต่าง ๆ ที่อาศัยสิ่งขับถ่ายในการขยายพันธุ์ จะรับเชื้อโรคเข้าสู่ร่างกาย โดยเชื้ออาจอยู่ในตัว ถ้าใส่ หรือในเลือดของสัตว์พาหะนั้น โดยที่คนจะได้รับเชื้อผ่านสัตว์เหล่านั้นอีกทีหนึ่ง ซึ่งองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้จำแนกเชื้อโรคตามลักษณะการติดเชื้อมาเป็น 6 ประเภท

ประเภทที่ 1 การติดเชื้อมีไวรัสและโปรโตซัว สามารถทำให้เกิดโรคได้แม้ว่าจะได้รับเชื้อเพียงเล็กน้อย และสามารถติดต่อกันได้ง่าย ซึ่งการปรับปรุงระบบสุขาภิบาลเพียงอย่างเดียวยังไม่พอ จะต้องให้ความรู้เกี่ยวกับสุขภาพควบคู่กันด้วย

ประเภทที่ 2 การติดเชื้อมาจากแบคทีเรีย จะต้องได้รับเชื้อในปริมาณที่มากพอจึงจะทำให้เกิดโรคได้ แต่ติดต่อกันจากบุคคลหนึ่งไปยังอีกบุคคลหนึ่งได้ยาก เชื้อนี้มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมและสามารถแพร่พันธุ์ได้ดีในที่ที่เหมาะสม ซึ่งการปรับปรุงระบบสุขาภิบาลเพียงอย่างเดียวยังไม่พอ จะต้องให้ความรู้เกี่ยวกับสุขภาพควบคู่กันด้วย

ประเภทที่ 3 เชื้อชนิดนี้ทำให้เกิดโรคได้ทั้งในระยะแฝงและระยะฝังตัว ได้แก่ ไข้พยาธิ ซึ่งไม่สามารถติดต่อกันจากบุคคลหนึ่งไปยังอีกบุคคลหนึ่งได้โดยตรง แต่ต้องการสถานที่และสภาวะที่เหมาะสมเพื่อเจริญเติบโตเป็นตัวพยาธิและเข้าสู่ร่างกายได้ ดังนั้น การจัดระบบสุขาภิบาลที่ดี เช่น การกำจัดสิ่งขับถ่ายที่ถูกต้องจึงเป็นสิ่งสำคัญ จึงเป็นการป้องกันมิให้มีสิ่งขับถ่ายปนเปื้อนสิ่งแวดล้อม

ประเภทที่ 4 พยาธิตัวตืดอาศัยอยู่ในลำไส้คน ไข่พยาธิจะปนออกมากับอุจจาระ ถ้ากำจัดสิ่งขับถ่ายไม่เหมาะสม ก็จะทำให้สัตว์จำพวกโค กระบือ และสุกร ได้รับไข่พยาธิจากการกินหญ้าที่มีไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พยาธิเข้าไป ซึ่งไข่พยาธินี้เมื่อเข้าไปในร่างกายสัตว์แล้วจะกลายเป็นซีสต์ (Cyst) และฝังตัวอยู่ตามกล้ามเนื้อ คนจะได้รับพยาธิโดยการรับประทานเนื้อสัตว์ดิบ ๆ ดังนั้น การจัดระบบสุขาภิบาลที่ดี เช่น การกำจัดสิ่งขี้ถ่ายที่ถูกต้องจึงเป็นสิ่งสำคัญ จึงเป็นการป้องกันมิให้มีสิ่งขี้ถ่ายปนเปื้อนสิ่งแวดล้อม

ประเภทที่ 5 พยาธิที่มีบางระยะของวงจรชีวิตอยู่ในน้ำ โดยพยาธิเหล่านี้จะมีระยะติดต่อก่อนที่อาศัยอยู่ในน้ำ โดยจะเข้าสู่ร่างกายคนโดยการไชเข้าทางผิวหนังหรือรับประทานสัตว์น้ำที่ไม่ได้ทำให้สุก ดังนั้น การจัดระบบสุขาภิบาลที่ดี จึงเป็นการป้องกันมิให้พยาธิเหล่านี้ปนเปื้อนสิ่งแวดล้อม

ประเภทที่ 6 การติดเชื้อโดยมีแมลงเป็นพาหะ แมลงที่เป็นพาหะที่สำคัญ ได้แก่ ยุง แมลงวัน โดยยุงพวก *Culex pipines* จะสามารถสืบพันธุ์ได้ในน้ำเสีย โดยเชื้อจะติดไปกับตัวแมลง เมื่อสัมผัสอาหาร เชื้อก็จะปนเปื้อนกับอาหาร ดังนั้น การจัดระบบสุขาภิบาลที่ดี จึงเป็นการป้องกันพาหะเหล่านี้

ดังนั้น แนวทางหนึ่งในการควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อโรค คือ จะต้องจัดระบบสุขาภิบาลตั้งแต่ระดับครัวเรือนไปจนถึงระดับชุมชนให้ถูกต้องเหมาะสมและควรมีระบบการจัดการและบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนที่สามารถกำจัดเชื้อโรคในน้ำทิ้งได้ก่อนที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม

2.8 พืชที่ใช้ในการทดลอง

2.8.1 ต้นกกกรม (อุไร, 2548)



รูปที่ 2.5 ต้นกกกรม

ชื่อสามัญ : Umbrella plant, Umbrella sedge

ชื่อวงศ์ : Cyperaceae

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Cyperus involucratus* Rottb.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

เป็น ไม้ริมน้ำ มีเหง้าใต้ดิน ลำต้นเหนือดิน เป็นเหลี่ยมเล็กน้อย เจริญเป็นกอแน่น สูงถึง 1 เมตร

ใบ ลดรูปเป็นกาบอยู่ที่โคนลำต้น

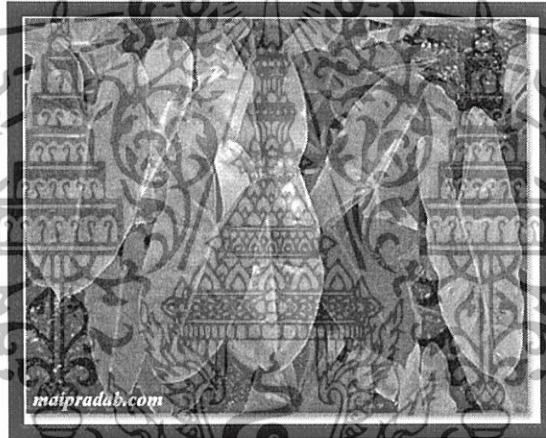
ดอก เป็นช่อกระจุกที่ปลายยอด ดอกย่อยเล็กสีเขียวปนสีน้ำตาลและมีจำนวนมาก มีกาบรองดอกรูปแถบ มีมากกว่า 15 อัน ยาว 15 – 20 เซนติเมตร กระจุกที่ปลายก้าน

ฤดูออกดอก ตลอดปี

สภาพปลูก ชอบดินเหนียวชุ่มชื้นและมีอินทรีย์วัตถุสูง หรือมีน้ำขังและที่ระดับ 15 – 25 เซนติเมตร มีแสงครึ่งวัน - เต็มวัน

ขยายพันธุ์ แยกกอ

2.8.2 ต้นมรกตหยก



รูปที่ 2.6 ต้นมรกตหยก

ชื่อสามัญ : Philodendron

ชื่อวงศ์ : Areceae

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Philodendron* spp.

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลำต้น เป็นพรรณไม้เลื้อยชนิดหนึ่ง ที่มีลำต้นแข็งแรงเวลาที่ปลุกกับหลักยึดจะเด่น มีข้อเสียดที่ช่องว่างระหว่างใบจะห่างเกินไป

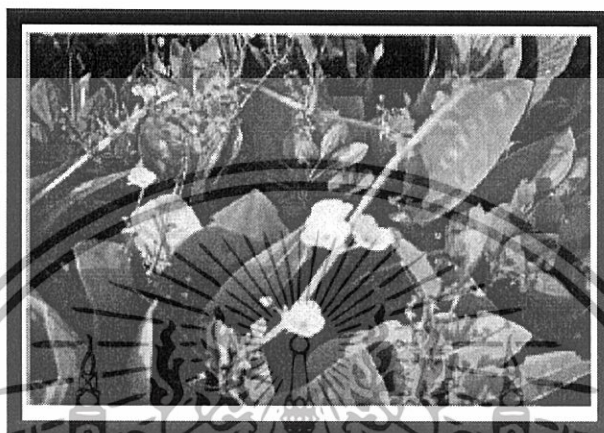
ใบ ใบเป็นรูปหัวใจ ปลายใบจะแหลม โคนใบมนเว้าเข้าหาก้านใบ ขอบใบเรียง พื้นใบเป็นสีเขียวเข้ม และเป็นมันเงามัน ใบจะหนา

การขยายพันธุ์ ตัดส่วนของลำต้น หรือยอดไปปักชำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะทางนิเวศวิทยา ชอบอยู่ในที่ร่ม ไม่ต้องการแสงแดดจัด เพราะอาจจะทำให้สีของใบไม่สวยได้ ขึ้นได้ดีในดินทุกชนิด แต่ถ้าจะให้ดีควรเป็นดินร่วนซุย ต้องการความชื้นสูง และน้ำปานกลาง
การใช้ประโยชน์ ใช้เป็นไม้ประดับภายในอาคาร

2.8.3 ต้นกอกอเมซอน (อุไร, 2548)



รูปที่ 2.7 ต้นกอกอเมซอน

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Echinodorus cordifolius* (L.) Griseb.

ชื่อวงศ์ : Alismataceae

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลำต้น เป็นเหง้าสั้น ๆ อยู่ใต้ดินมีรากยึดไว้ ลำต้นเหนือดินเป็นกอ มีใบแบบแตกรอบ ๆ

ใบ เป็นใบเดี่ยวหนาแข็ง แผ่นใบคล้ายรูปหัวใจฐานใบหยักเว้า ผิวใบเรียบเป็นมัน ขอบใบเรียบ เส้นใบ 3-7 เส้น เห็นได้ชัดเจน ก้านใบแข็งแรง มีลักษณะกลมเรียวยาว โคนก้านใบแผ่กว้าง หุ้มประกบกัน

ดอก ออกดอกแบบช่อประอบซึ่งมีดอกย่อยจำนวนมาก เจริญอยู่ที่บนก้านช่อดอกใหญ่ และก้านช่อดอกย่อย ดอกย่อยออกเป็นคู่ หรือมากกว่านี้มีใบประดับสีเขียวรองรับเป็นระยะไป กลีบดอก สีขาว 3 กลีบ บางและร่วงง่าย ขนาดดอกกว้างประมาณ 2 เซนติเมตร เกสรเพศผู้มีจำนวนมาก สีเหลือง

ผล มีลักษณะเหมือนผลเดี่ยว รูปทรงกลม แต่เมื่อแยกเป็นผลย่อยมีเพียง 1 เมล็ดเท่านั้น

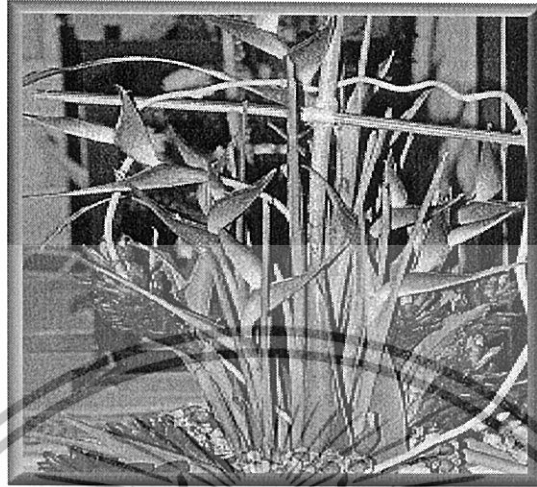
การขยายพันธุ์ ที่ตรงช่อดอกจะแตกราก และต้นอ่อน

ลักษณะทางนิเวศวิทยา พืชล้มลุกที่มีอายุหลายปี บริเวณพื้นที่ชื้นและ

การใช้ประโยชน์ พืชชนิดนี้ถูกนำเข้ามาปลูกเป็นไม้ประดับริมขอบสระ หรือในอ่างน้ำตื้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4 ต้นธรรมรักษา



รูปที่ 2.8 ต้นธรรมรักษา

ชื่อสามัญ : Heliconia

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Jasminum heliconia* spp.

ชื่อวงศ์ : Heliconiaceae

ถิ่นกำเนิด : เขตร้อนของทวีปอเมริกาและหมู่เกาะในแถบทะเลแคริบเบียน

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ต้นธรรมรักษาเป็นพืชล้มลุกข้ามฤดูหรือหลายฤดู ลักษณะอวบน้ำยืนต้น (Herbaceous perennial) ลำต้นใต้ดินแบบเหง้า (Rhizome) คล้ายขิง ส่วนเหนือดินเรียกว่าลำต้นเทียม ซึ่งประกอบด้วย กาบใบ เรียงซ้อนสลับกันคล้ายกาบกล้วย ใบมีลักษณะคล้ายใบกล้วย ลักษณะของกอแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

กอแน่น กอลักษณะนี้ เหง้าจะมีข้อชิดกันทำให้หน่อใหม่เกิดชิดโคนต้นเดิมจึงทำให้กอมีลักษณะแน่น

กอขยายกว้าง กอลักษณะนี้เหง้าจะมีข้อห่างกันทำให้หน่อเกิดใหม่เกิดห่างต้นเดิมกอขยายกว้างอย่างรวดเร็ว

ช่อดอกจะเกิดขึ้นที่กลางลำต้นเทียม ช่อดอกประกอบด้วย ก้านช่อดอก (Peduncle) ก้านต่อระหว่างใบประดับ (Rachis) ใบประดับ (Bract) ซึ่งรองรับดอกอยู่ เรียงสลับกันเหมือนรูปเรือ ใบประดับอาจอยู่ในระนาบเดียวกันหรือต่อกันก็ได้แล้วแต่พันธุ์ ใบประดับมีหลายสี (แดง ชมพู เหลือง และแสด) ภายในกลีบประดับจะมีดอกคล้ายดอกกล้วยเล็ก ๆ เรียงกันอยู่แถวเดียว ดอกนี้เรียกว่า ดอกจริง ซึ่งเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดอกสมบูรณ์เพศ แต่ละดอกมีกลีบเลี้ยง 3 กลีบ และกลีบดอก 3 กลีบ ทั้งหมดนี้ จะหลอมติดกันเป็นหลอดภายในมีเกสรตัวผู้ 6 อัน ซึ่งจะเจริญเพียง 5 อัน อีก 1 อันเป็นหมัน รังไข่ อยู่ใต้กลีบเลี้ยงและกลีบดอก ภายในมี 3 ช่องเป็นผลนุ้ม เมล็ดคล้ายเมล็ดกล้วย แข็ง ผลสุกมีสีน้ำตาล ถ้าเป็นชนิดที่มาจากทวีปอเมริกา และมีสีแดงถ้ามาจากหมู่เกาะแปซิฟิก

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- Klomjek และคณะ, 2547 ได้ทำชุดการทดลองเพื่อหาความเป็นไปได้ของบึงประดิษฐ์ในการกำจัดมลพิษจากน้ำเค็มโดยใช้พืชโผล่พื้นน้ำ 8 ชนิด ได้แก่ ต้นธูปฤๅษี (*Typha angustifolia*) หญ้าแห้วหมู หญ้าน้ำ หญ้าแพรกเอเชีย (*Digitaria bicornis*) หญ้าน้ำเค็ม หญ้า Kallar หญ้าแฝก (Vetiver) และต้นอเมซอน ปลุกในแปลงทดลองและให้น้ำเสียชุมชนซึ่งมีความเค็มของโซเดียมคลอไรด์ เกือบแบบความเข้มข้นความเค็มของน้ำทะเลที่ประมาณ 14-16 mS/cm พืชที่ทนต่อปัจจัยได้แก่ ต้นอเมซอน และหญ้าแฝก การดูดซึมสารอาหารไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสของพืชที่ทนต่อความเค็ม อยู่ในช่วง 0.006-0.061 และ 0.0002-0.0024 g/m².d ตามลำดับ ความสามารถในการบำบัดของหน่วยบำบัด คือ BOD₅ เท่ากับร้อยละ 72.4-78.9 ค่าของแข็งแขวนลอย (SS) เท่ากับร้อยละ 43.2-56.0 แอมโมเนียเท่ากับร้อยละ 67.4-76.5 และฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 28.9-44.9 พืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดี ทั้งรากและลำต้น และสามารถดูดซึมไนโตรเจนทั้งหมดได้มากที่สุดคือต้นธูปฤๅษี พืชที่สามารถบำบัดค่า BOD₅ ได้ดีคือหญ้าแพรกเอเชีย และได้มีการนำพืชทั้ง 2 ชนิด ไปใช้ในระบบบึงประดิษฐ์แบบอัตราไหลต่อเนื่อง โดยรับน้ำเสียที่มีความเค็มที่เข้ากระบวนการ อัตราการกำจัดสูง เกิดได้ดีเมื่อใช้ระยะเวลาานซึ่งสามารถลด BOD₅ ของแข็งแขวนลอย แอมโมเนีย-ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมด อยู่ในช่วงร้อยละ 44.4-67.9, 41.4-70.4, 18.0-65.3 และ 12.2-40.5 ตามลำดับ

- Kyambadde และคณะ, 2004 ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของต้น *Cyperus papyrus* และต้น *Miscanthidium violaceum* ด้วยระบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสียในเขตร้อน ประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ในการบำบัดโดยน้ำเสียที่นำมาทำการทดลองเป็นน้ำเสียที่ได้จากการบำบัดในขั้นที่ 2 จาก Bugdobi โดยใช้บึงประดิษฐ์แบบแนวตั้ง โดยทำถังปฏิกรณ์ที่ทั้งหมด 36 เซลล์ แบ่งเป็น 6 แถว แถวละ 6 เซลล์ แถวแรกเป็นการบำบัดโดยไม่ใช้ออกซิเจน แถวที่ 2-6 ทำการทดลองเหมือนกัน ทำ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 2 ชั่วโมง ให้อัตราการไหลเท่ากับ 0.064 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีระยะเวลาพักเก็บน้ำ 5 วัน จึงทำการเก็บตัวอย่าง โดยวัดค่าตัวแปรทางกายภาพและเคมี ผลที่ได้ พบว่า *Cyperus papyrus* มีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัส ได้ร้อยละ 75.3 และ 83.2 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า *Miscanthidium violaceum* ซึ่งได้ร้อยละ 61.5 และ 48.4 ตามลำดับ และตัวควบคุมอื่นๆ สารอาหาร (ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัส) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.015) ในเนื้อเยื่อของต้น *Cyperus papyrus* มากกว่า *Miscanthidium violaceum* ซึ่งในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cyperus papyrus สามารถกำจัด ไนโตรเจนทั้งหมดได้ร้อยละ 69.5 และฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 88.8 สำหรับ *Miscanthidium violaceum* สามารถกำจัดได้ ไนโตรเจนทั้งหมดได้ร้อยละ 15.8 และฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 30.7 *Cyperus papyrus* มีจำนวนรากมากกว่า *Miscanthidium violaceum* อย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.000$) มีจำนวนแบคทีเรีย Nitrifying ที่เกาะอยู่ที่รากเท่ากับ $2.15 \times 10^6 \pm 1.53 \times 10^5$ MPN/g DW และที่รากของ *Miscanthidium violaceum* $1.30 \times 10^4 \pm 8.83 \times 10^2$ MPN/g DW

- Luederitz และคณะ, 2000 ได้ทำการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารและแหล่งเศรษฐกิจของบึงประดิษฐ์โดยทำการทดลองเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียของบึงประดิษฐ์แบบแนวตั้งและแนวนอน ประกอบด้วย 1) บึงประดิษฐ์แนวนอนขนาดเล็ก 2) ความชันของบึงประดิษฐ์แนวนอน 3) บึงประดิษฐ์แนวนอนขนาดใหญ่ 4) การเรียงชั้นของบึงประดิษฐ์แนวตั้ง และ 5) การไม่เรียงชั้นของบึงประดิษฐ์แบบแนวตั้ง ผลที่ได้พบว่า ทั้ง 2 แบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมด ได้มากกว่าร้อยละ 90 ถ้ามีชั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้นที่มีประสิทธิภาพและถ้าพื้นที่การบำบัดมีลักษณะใหญ่ (มากกว่า $50 \text{ m}^2/\text{m}^3 \cdot \text{day}$) บึงประดิษฐ์แบบแนวนอนมีข้อดีคือใช้เวลานานในการกำจัดฟอสฟอรัสเพราะเกิดสารอินทรีย์ในระดับสูง และระบบบำบัดแบบธรรมชาติช่วยลดค่าวัสดุได้ร้อยละ 76 และพลังงานได้ร้อยละ 83

- พิศาล และ สุภัญญา, 2546 ได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวตั้ง หรือระบบ Subterra เปรียบเทียบกับถังปฏิกรณ์ที่ของระบบบึงประดิษฐ์ที่เรียกว่า “ระบบ Demo” ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ค่าภาระการรองรับน้ำต่อหน่วยพื้นที่ (Hydraulic loading rate, HLR) และค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ (Organic loading rate, OLR) จากผลการทดลองพบว่าทั้งระบบ Subterra และระบบ Demo มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อน NMP ได้ โดยระบบ Subterra สามารถบำบัดซีโอดี (COD), บีโอดี (BOD), แอมโมเนียมไนโตรเจนทั้งหมด ($\text{NH}_3\text{-N}$) และทีเคเอ็น (TKN) ได้ร้อยละ 62.4, 88.94, 57.04 และ 44.41 ตามลำดับ สำหรับระบบ Demo พบว่าสามารถใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาการทำงานของระบบ Subterra ได้ โดยสามารถบำบัดซีโอดี, บีโอดี, แอมโมเนียมไนโตรเจนทั้งหมด และทีเคเอ็น ได้ร้อยละ 61.78, 87.86, 91.33 และ 63.53 ตามลำดับ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของน้ำที่อยู่ในระดับที่ไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของค่า HLR ในการบำบัดน้ำเสียมีค่าเท่ากับ $0.141 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ นอกจากนี้ มีการศึกษาความสามารถในการเจริญเติบโตของต้นธรรมรักษา (Heliconia) ในระบบ Demo พบว่าต้นธรรมรักษามีความทนทานต่อสภาวะน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ได้ โดยมีความสูงเพิ่มขึ้นประมาณ 8.0 ถึง 12.5 เซนติเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 3 เดือน

- ชลอ และคณะ, 2548 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ทีโอซี ซีโอดี บีโอดี และค่าการดูดกลืนแสงยูวีของสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม โดยศึกษาความสัมพันธ์ของวิธีการทดสอบปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำระหว่างค่าทีโอซี ซีโอดี บีโอดีและค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร โดยศึกษาจากตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ทราบสูตร โมเลกุลและสารอินทรีย์ใน น้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อมทั้งที่ยังไม่ผ่านการบำบัดและที่ผ่านการบำบัด มาทำการวิเคราะห์หาค่า ที่ไอซีเพื่อหาปริมาณคาร์บอนด้วยวิธีการเผาไหม้ โดยช่วงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ใช้ในการ ทดลองอยู่ในช่วง 0-300 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลิตร การวิเคราะห์ค่า :ซีไอดี เป็นการหาปริมาณออกซิเจน ที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ การวิเคราะห์ค่าบีไอดี เป็นการวิเคราะห์หาค่าออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และการวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรซึ่งจะวัดค่าการ ดูดกลืนแสงของพันธะคู่ของคาร์บอนใน โมเลกุลของสารอินทรีย์ จากผลการทดลองพบว่าสารอินทรีย์ ในน้ำตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ไอซีกับค่าซีไอดีและบีไอดีที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$) ส่วนค่าที่ไอซีกับค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร พบว่าไม่มี ความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1. สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
2. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
3. แอมโมเนียมโมลิบเดต ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
4. แอมโมเนียมวานาเดต (NH_4VO_3) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
5. โพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
6. โซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
7. ซัลฟานิลามายด์ เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
8. โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ J.T. Baker
9. เมอร์คิวริกออกไซด์ (HgO_2) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ J.T. Baker
10. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ J.T. Baker
11. โซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
12. โซเดียมเตตระโบเรต ($Na_2B_4O_7$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
13. กรดบอริก (H_3BO_3) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
14. สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ (CH_3CH_2OH) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
15. กรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
16. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
17. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK

3.1.2. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถังขนาดจุ 75.75 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร
2. ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.45 เซนติเมตร
3. ฝักบัว
4. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น 6405 UV/Vis Spectrophotometer ยี่ห้อ JENWAY
5. หลอดย่อยสลาย
6. พีเอชมิเตอร์
7. ขวดเคลดกาล์และอุปกรณ์การกลั่น ยี่ห้อ Gerhardt

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสงวนไว้สำหรับก้ารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เครื่องชั่งละเอียด

9. โถทำแห้ง

3.2 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

น้ำเสียที่นำมาบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินแนวดิ่ง เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วน ซีโอดี : ไนโตรเจนทั้งหมด : ฟอสฟอรัส (COD : N : P) เป็น 100 : 10 : 2 (Lee และคณะ, 2003) โดยให้น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าซีโอดี 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเจลดาคาร์บอน ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าที่ประมาณจากค่าน้ำเสียจากบ้านเรือน การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์จะเตรียมทุก 2 วัน เนื่องจากน้ำเสียจะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ เกิดกลิ่นเหม็น และวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียทุกครั้งที่เตรียม โดยสูตรน้ำเสียแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบและความเข้มข้นน้ำเสียสังเคราะห์ (Lee และคณะ, 2003)

สารประกอบ	สูตรโมเลกุล	มวลโมเลกุล (g/mol)	ความเข้มข้น (mg/l)
Organics and nutrients			
- Glucose	$C_6H_{12}O_6$	180.0	280
- Ammonium sulfate	$(NH_4)_2SO_4$	132.1	142
- Potassium phosphate	KH_2PO_4	136.1	26
Trace nutrients			
- Calcium chloride	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	147.0	0.368
- Magnesium sulfate	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	246.5	5.07
- Manganese chloride	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	197.9	0.275
- Zinc sulfate	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	287.5	0.44
- Ferric chloride anhydrous	$FeCl_3$	162.2	1.45
- Cupic sulfate	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	249.7	0.391
- Cobalt chloride	$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	237.9	0.42
- Sodium molybdate dihydrate	$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	242.0	1.26
- Yeast extract			30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 พืชที่ใช้ในการทดลอง

1. ต้นกรรรม (*Cyperus involcratus* Rottb.)
2. ต้นมรกตหยก (*Philodeodron* spp.)
3. ต้นกอกอเมซอน (*Echinodorus cordifolius* L. Griseb.)
4. ต้นธรรมรักษา (*Jasminum heliconia* spp.)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 ถังปฏิกรณ์ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง

1. นำถังขนาดบรรจุ 75.75 ลิตร จำนวน 5 ถัง โดยมีทางน้ำออกที่มีวาล์วปิด-เปิด สูง 5 เซนติเมตรจากก้นถัง ภายในถังใช้ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.45 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ต่อเข้ากับท่อทางน้ำออกในแนวนอนเพื่อระบายน้ำ โดยเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ระยะห่าง 1 เซนติเมตร ตลอดความยาวท่อ ซึ่งรูที่เจาะนี้จะอยู่ด้านล่างเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตันเนื่องจากทราย

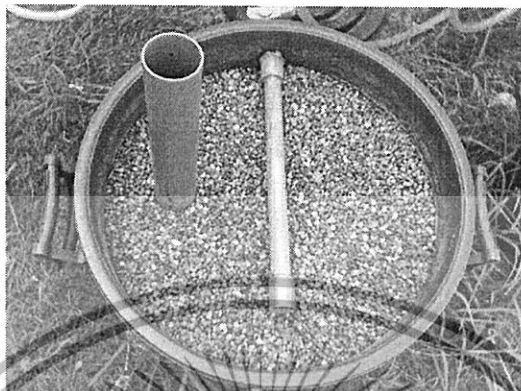


รูปที่ 3.1 ถังปฏิกรณ์ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำใต้ผิวดินแนวดิ่ง

2. ใส่ท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 49 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตรในแนวดิ่ง โดยเจาะรูตลอดความยาวท่อ เพื่อวัดระดับน้ำในถัง
3. บรรจุกรวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สูง 7 เซนติเมตร จากนั้นบรรจุด้วยกรวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร สูง 3 เซนติเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้ทรายอุดตันทางน้ำออก บรรจุทรายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5-1.0 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูง 40 เซนติเมตร และชั้นบนสุดบรรจุกรวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร สูง 2 เซนติเมตร เพื่อกรองเศษวัสดุที่มีขนาดใหญ่ (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 กรวดชั้นบนสุดของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวลิ่ง

4. ปลุกต้นพืช โดยคัดเลือกพืชที่มีความสูง จำนวนใบ จำนวนราก และความยาวรากที่ใกล้เคียงกัน ใช้พืชทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ต้นกกกรม ต้นมรกตหยก ต้นกกอเมซอน และต้นธรรมรักษา ดังนี้

ถึงควบคุม เป็นถึงควบคุม ไม่มีการปลุกต้นไม้

ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 ปลุกต้นกกกรม จำนวน 4 ต้น

ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 ปลุกต้นมรกตหยก จำนวน 4 ต้น

ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 ปลุกต้นกกอเมซอน จำนวน 4 ต้น

ถึงปฏิกรณ์ที่ 4 ปลุกต้นกกกรม ต้นมรกตหยก ต้นกกอเมซอน และต้นธรรมรักษา

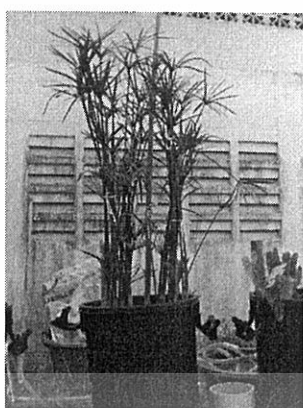
อย่างละ 1 ต้น (รูปที่ 3.3)

5. ใส่น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นซีโอดี 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนโตรเจน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสฟอรัส 2 มิลลิกรัมต่อลิตรให้มีระดับความสูง 50 เซนติเมตร (Saturation zone) จากระดับก้นถัง คอยเติมน้ำเสียสังเคราะห์ให้ได้ระดับเดิมวันละสองครั้ง (8:30 น. และ 16:30 น.) เพื่อสร้างฟิล์มชีวภาพ (biofilm) เป็นระยะเวลา 3 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



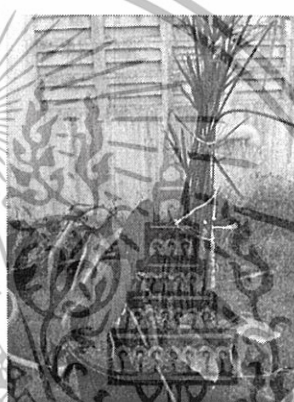
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 3.3 ถังควบคุมและถังปฏิกรณ์ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการทดลอง
(ก) ถังควบคุม (ข) ถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ค) ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ง) ถังปฏิกรณ์ที่ 3 (จ) ถังปฏิกรณ์ที่ 4

3.4.2 ศึกษาความสามารถในการเจริญเติบโตและความทนทานต่อน้ำเสียของพืชในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง

1. จัดบันทึกความสูงลำต้น จำนวนใบ และความยาวรากของพืชก่อนการปลูก
2. ใส่น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นซีโอดี 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนโตรเจน 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสฟอรัส 8 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการวัดระดับน้ำในช่วงเวลา 8.30 น. และช่วง 16.30 น. หากระดับน้ำลดลงจะเติมน้ำให้อยู่ในระดับเดิม
3. ทำการตรวจวัดความสูงลำต้น และจำนวนใบของพืช ทุก 7 วัน
4. หลังเสร็จสิ้นการทดลองทำการวัดความยาวรากของพืช
5. นำผลไปวิเคราะห์ความสามารถในการเจริญเติบโตและความทนทานต่อน้ำเสียของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง

ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง โดยการทดลองแบบครั้งดังนี้

1. ใส่ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นซีโอดี 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนโตรเจน 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสฟอรัส 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ในถังปฏิกรณ์ให้ทุกถังมีน้ำเสียสูง 50 เซนติเมตรจากระดับก้นถัง โดยใช้วิธีเติมแบบครั้ง วัดระดับของน้ำและเติมให้น้ำเสียอยู่ในระดับเดิมวันละสองครั้ง (8:30 น. และ 16:30 น.)
2. กักเก็บน้ำเป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำจากทางออกของถังปฏิกรณ์วันละ 3 ลิตร หลังจากนั้นเติมน้ำเสียสังเคราะห์ลงในถังปฏิกรณ์แต่ละถัง ให้มีระดับเดิม (50 เซนติเมตร) ต่อเนื่องกันนาน 7 วัน
3. นำตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
พีเอช	เครื่องพีเอชมิเตอร์
อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์
ซีโอดี	รีฟลักซ์แบบปิด
บีโอดี	จากการคำนวณ*
ทีโอดี	จากการคำนวณ*
ไนโตรเจนทั้งหมด	เจลดาค้าไนโตรเจนทั้งหมด
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	เวนาโดโมลิบดีเตท

หมายเหตุ: *จากความสัมพันธ์ ทีโอดี บีโอดี ซีโอดี (สุวรรณยา และคณะ, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสีย

การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง โดยการทดลองแบบครึ่ง จากการทดสอบลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเตรียมใหม่ทุก 2 วัน ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนเข้าระบบบึงประดิษฐ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนเข้าถังปฏิกรณ์

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่วัดได้	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
pH	-	5.31-6.34	5.94	0.35
อุณหภูมิ	°C	26-28	27	0.51
COD	mg/l	385.46-406.16	396.61	8.71
BOD	mg/l	*316.20-333.01	325.25	7.53
TOC	mg/l	*148.42-158.80	152.97	6.92
TKN	mg/l	38.77-41.18	40.00	0.96
P	mg/l	6.85-8.27	7.46	0.59

หมายเหตุ : *ชดส และคณะ, 2548 ความสัมพันธ์ที่ไอซี บีไอดี และซีไอดี

4.2 ศึกษาความสามารถในการเจริญเติบโตและความทนทานต่อน้ำเสียของพืชในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง

ทดสอบความสามารถในการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในถังปฏิกรณ์ เพื่อศึกษาหาพันธุ์พืชที่เหมาะสมสำหรับระบบบึงประดิษฐ์ ทดสอบโดยปลูกต้นกกร่ม ต้นมรกตหยก ต้นกกอเมซอน จำนวน 4 ต้นในแต่ละถังปฏิกรณ์ และต้นกกร่ม ต้นมรกตหยก ต้นกกอเมซอน และต้นธรรมรักษา อย่างละหนึ่งต้นในถังปฏิกรณ์หนึ่งถัง ซึ่งพืชชนิดเดียวกันแต่ละต้นมีการวัดความสูงและนับจำนวนใบให้มีจำนวนใกล้เคียงกัน โดยใช้ระยะเวลาในการทดลอง 4 เดือน ในช่วง 3 เดือนแรกเป็นช่วงสร้างฟิล์มชีวภาพ มีการปล่อยน้ำเสียสังเคราะห์ที่ค่าซีไอดีประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดประมาณ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดประมาณ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นช่วงที่สอง (เดือนสุดท้าย) เป็นช่วงที่มีการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์ มีการเปลี่ยนความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นค่าซีไอดีประมาณ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารผลงานวิจัยหรือการเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดประมาณ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร (จำลอง คุณลักษณะน้ำเสียชุมชน) ซึ่งการเจริญเติบโต แสดงดังในตารางที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก-1 ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.2 การเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดลอง

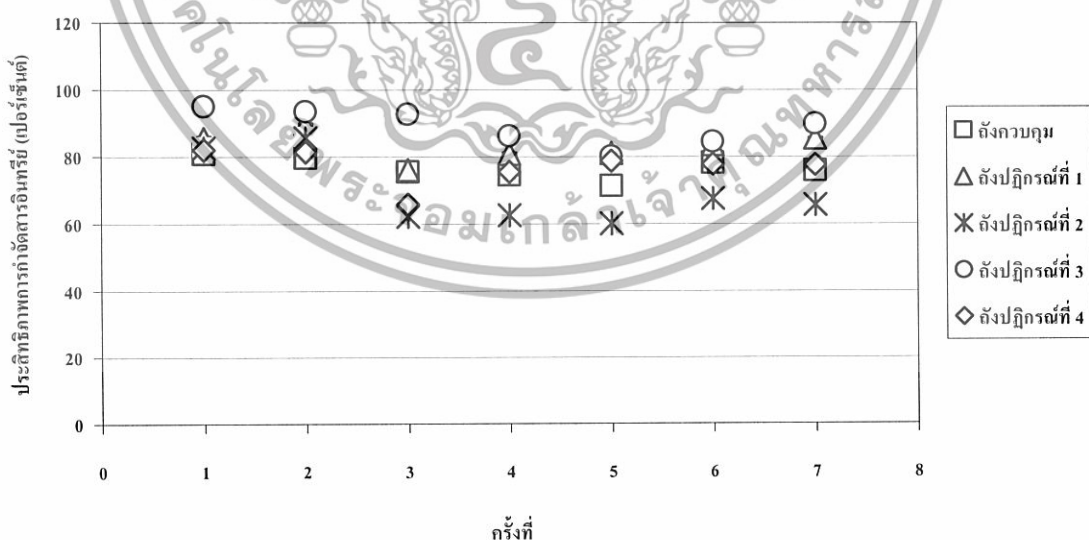
ถึง	ระยะสร้างฟิล์มชีวภาพ		ระยะการทดลอง	
	จำนวนใบ (ใบต่อต้นต่อสัปดาห์)	ต้นกล้า (ต้นต่อสัปดาห์)	จำนวนใบ (ใบต่อต้นต่อสัปดาห์)	ต้นกล้า (ต้นต่อสัปดาห์)
ถึงควบคุม	-	-	-	-
ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 (ต้นกร่ม)	2	-	8	-
ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 (ต้นมรกตหยก)	1	-	2	-
ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 (ต้นกอกเมซอน)	2	1	4	6
ถึงปฏิกรณ์ที่ 4				
- ต้นกร่ม	2	-	6	-
- ต้นมรกตหยก	1	-	2	-
- ต้นกอกเมซอน	2	1	3	4
- ต้นธรรมรักษา	1	-	2	-

จากการทดลองพบว่าพืชทั้ง 4 ชนิดทนต่อน้ำเสียสังเคราะห์ได้ คือสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ ไม่ตาย ในถึงปฏิกรณ์ที่ 1 ต้นกร่ม เป็น ไม้ริมน้ำ มีเหง้าใต้ดิน เจริญเป็นกอแน่น สูงประมาณ 1 เมตร ชอบน้ำท่วมขัง และบริเวณที่มีสารอินทรีย์วัตถุสูง จากการทดลองพบว่าความสูงทั้งก่อนปลูกและหลังปลูกมีค่าใกล้เคียงกัน มีการเพิ่มจำนวนของใบ ช่วงแรกระยะสร้างฟิล์มชีวภาพต้นกร่มมีจำนวนใบเพิ่มขึ้นน้อยกว่าในช่วงที่สอง เป็นเพราะว่าในช่วงนี้พืชมีการปรับตัวและมีสารอินทรีย์ที่พืชสามารถนำไปใช้เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น ส่วนในถึงปฏิกรณ์ที่ 2 ต้นมรกตหยก เป็นพรรณไม้เลื้อย ชอบอยู่ในที่ร่ม และชอบน้ำปานกลาง จากการทดลองพบว่าใบของมรกตหยกเหี่ยวเหลืองทั้งนี้อาจเป็นเพราะต้นมรกตหยกถูกแดดมากเกินไป เนื่องจากทำการทดลองในที่โล่งแจ้งและถูกน้ำท่วมขัง เนื่องจากต้นมรกตหยกไม่ใช่พืชน้ำจึงมีการเจริญเติบโตน้อย เมื่อเทียบกับต้นพืชชนิดอื่นทั้งสองช่วง ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 ต้นกอกเมซอน มีลำต้นเป็นเหง้าสั้น ๆ ใต้ดิน มีใบเตลอบ ๆ กอ มีการขยายพันธุ์จากบริเวณข้อคอกมีการแตกต้นอ่อน ช่วงแรกระยะสร้างฟิล์มชีวภาพมีเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเจริญเติบโตน้อยกว่า ช่วงที่สองพืชมีการปรับตัวและมีสารอินทรีย์ที่พืชนำไปใช้ได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ จึงมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่า ส่วนในถังปฏิกรณ์ที่ 4 เป็นถังปฏิกรณ์ที่มีการปลูกพืช 4 ชนิดรวมกัน ได้แก่ ต้นกระม ต้นมรกตหยก ต้นกอกเมซอน และต้นธรรมรักษา ต้นพืชที่ชนิดเดียวกับถังปฏิกรณ์ที่อื่นมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน ส่วนต้นธรรมรักษา เป็นพืชที่มีเหง้าคล้ายงาช้างอยู่ใต้ดิน มีใบคล้ายกาบกล้วย และมีช่อดอกลักษณะเรียงสลับกัน เนื่องจากการทดลองทั้งหมดมีระยะเวลาไม่เพียงพอ ต้นธรรมรักษาจึงไม่มีการออกดอก การเพิ่มจำนวนของใบทั้งสองช่วงใกล้เคียงกัน

4.3 ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง

จากผลการทดลองพบว่าสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าลดลง เนื่องจากการย่อยสลายจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ตามรากพืชและผิวเมล็ดดิน โดยที่ส่วนบนของระบบอาจเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic bacteria) นำไปใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์ และคาร์บอนที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์จะใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืช (Bedford และคณะ, 1991) โดยใช้ออกซิเจนจากการแทรกในชั้นดินตามแนวของรากพืช และจากการเติมน้ำเสีย ส่วนช่วงกลางและด้านล่างอาจเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ของ Facultative anaerobic bacteria เพราะตัวกลางเป็นทราย ออกซิเจนจึงสามารถแทรกผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดทรายได้ และความลึกของตัวกลางยังไม่ลึกเพียงพอ อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ไม่ได้ทดลองหาชนิดของจุลินทรีย์ในแต่ละระดับความลึกของถัง (ดูรายละเอียดในตาราง ก-2 ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ทั้ง 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตาราง ก-2 ภาคผนวก ก) ถึงควบคุมมีประสิทธิภาพการบำบัด อยู่ประมาณร้อยละ 70 – 80 กระบวนการที่เกิดขึ้นอาจมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ ประเภท Aerobic bacteria ในส่วนบน และประเภท Facultative anaerobic bacteria ในส่วนกลางและล่าง ของระบบ และการกรองด้วยชั้นทราย เนื่องด้วยในถังนี้ไม่มีการปลูกพืชเพื่อให้ออกซิเจนแทรกผ่านไป ในชั้นตัวกลางได้ โดยนับตั้งแต่วันแรกที่มีการเก็บตัวอย่างน้ำที่ออกจากระบบพบว่าประสิทธิภาพในการ บำบัดมีค่าลดลงเรื่อยๆ อาจเนื่องจากเกิดการตายของจุลินทรีย์ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในถังมีค่าสูงขึ้น

ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ต้นกกรรม มีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ประมาณร้อยละ 75 – 90 เนื่องจากต้นกกรรมมีรากที่แพร่กระจายได้มาก ทำให้เกิดการแทรกผ่านของออกซิเจนได้ดี ทำให้จุลินทรีย์ประเภทที่ใช้ ออกซิเจนเจริญเติบโตได้ดี ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วกว่าจุลินทรีย์ประเภทที่ไม่ใช้ออกซิเจน

ถังปฏิกรณ์ที่ 2 ต้นมรดกหยก มีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ประมาณร้อยละ 60 – 85 พืชที่ใช้มีความยาวของรากสั้น และไม่ใช้พีชน้ำ จึงแทบจะไม่สามารถสังเกตเห็นได้ถึงความเจริญเติบโต มีความสามารถในการนำสารอินทรีย์ไปใช้ใกล้เคียงกับถังควบคุม อาจเนื่องด้วยพืชซึ่งเป็นสารอินทรีย์เกิดการเหี่ยวและตายของพืชตามอายุ

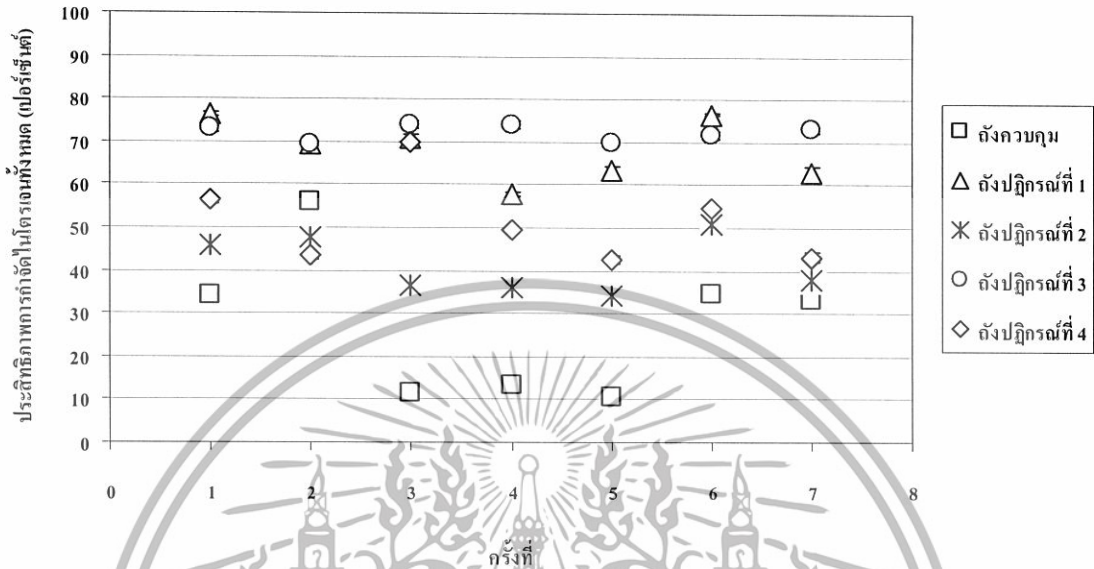
ถังปฏิกรณ์ที่ 3 ต้นกกอเมซอน มีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ประมาณร้อยละ 80 – 95 คาดว่า กระบวนการบำบัดคล้ายคลึงกับในถังปฏิกรณ์ที่ 1 เนื่องจากเป็นพีชน้ำ ที่มีรากมากเช่นเดียวกัน และสามารถแทรกชั้นตัวกลางได้ดี จุลินทรีย์ประเภทใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ถังปฏิกรณ์ที่ 4 ปลูกต้นไม้ทั้ง 4 ชนิด เนื่องจากมีต้นกกรรม และต้นกกอเมซอน ซึ่งรากของพืช ทั้ง 2 ชนิดสามารถแทรกชั้นตัวกลางได้ดี จุลินทรีย์จึงสามารถนำออกซิเจนไปใช้ได้ แต่เนื่องจากปริมาณ ต้นไม้ทั้งสองชนิดนี้มีเพียงอย่างละ 1 ต้น จึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่าในถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ 3 เนื่องจากในถังนี้มีต้นมรดกหยกที่ไม่มีผลในการแทรกช่องว่างในชั้นตัวกลาง

นอกจากนี้ยังพบว่าระบบบำบัดนี้สามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าประมาณ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงเท่ากับ 9.4 – 35.8 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ถึงร้อยละ 27.3 – 71.5 ซึ่งปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ลดลงนี้เกิดจากกระบวนการทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ คือ กระบวนการ Nitrification ที่จุลินทรีย์เปลี่ยนไนโตรเจนทั้งหมดในรูปของแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรทไนโตรเจนทั้งหมดในสถานะที่มีออกซิเจน ซึ่งออกซิเจนได้จากออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย และออกซิเจนที่ละลายอยู่ในช่องว่างระหว่างดิน และกระบวนการ Denitrification เป็นการที่จุลินทรีย์ทำการเปลี่ยนรูปไนเตรทไนโตรเจนทั้งหมดเป็นก๊าซไนโตรเจนทั้งหมด จุลินทรีย์จะนำพลังงานที่ได้จากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่อยสลายในการเจริญเติบโต พืชมีการนำแอมโมเนียในโตรเจนทั้งหมดและไนเตรทในโตรเจนทั้งหมดเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์ในเซลล์ของพืช



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ทั้ง 5

จากรูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตาราง ก-3 ภาคผนวก ก) จะเห็นว่านำออกจากถังควบคุม มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าประมาณร้อยละ 10 – 60 ซึ่งต่ำกว่าถังปฏิกรณ์ที่ทั้ง 4 อธิบายได้ว่าในถังควบคุมนี้ในโตรเจนลดลงเกิดจากการย่อยสลายจากจุลินทรีย์เท่านั้น ส่วนถังปฏิกรณ์ที่มีพืชทั้ง 4 ถัง มีการกำจัดไนโตรเจนมากกว่าถังควบคุมเพราะในถังปฏิกรณ์พืชมีการนำไนเตรทไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช เป็นไปตามการศึกษาของ Drizo (1997) ที่ว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืชมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดต่ำกว่าถังปฏิกรณ์ที่มีพืช

ถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ต้นกรรรม) มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดประมาณร้อยละ 60 – 80 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 เพราะต้นกรรรมมีรากมากและมีการแพร่กระจายของรากมาก จึงซ่อนไซซันต์กลางในถังเกิดช่องว่างมาก ทำให้มีจุลินทรีย์ประเภทที่ใช้ออกซิเจนเจริญได้ดี ซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายไนโตรเจน โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยเปลี่ยนไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียในโตรเจน และไนเตรทในโตรเจนได้มาก ซึ่งแอมโมเนียในโตรเจนและไนเตรทในโตรเจนนี้จะถูกพืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์พืช ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการเจริญเติบโตของต้นกรรรมที่เจริญได้ดีกว่าพืชชนิดอื่น ๆ

ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ต้นมรดทหยก) มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดประมาณร้อยละ 30 – 55 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งกำจัดไนโตรเจนได้น้อยมาก เนื่องจากต้นมรดทหยกไม่ใช่พืชน้ำ การเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

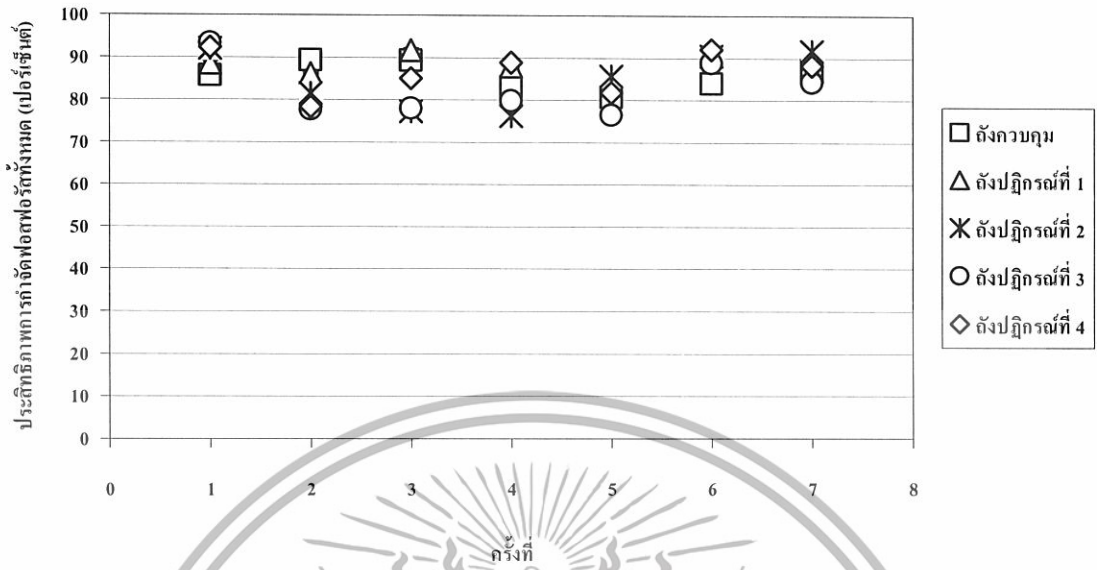
แร่รากอยู่ในน้ำจึงทำให้ต้นมรดกหยกไม่เจริญเติบโต รากมีการแพร่กระจายน้อย จึงทำให้ออกซิเจนแทรกเข้าไปในชั้นตัวกลางได้น้อย จุลินทรีย์จึงมีออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการไนตริฟิเคชันน้อย ไนโตรเจนจึงถูกกำจัดได้น้อยด้วย

ถังปฏิกรณ์ที่ 3 (ต้นกกอเมซอน) มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดประมาณร้อยละ 65 – 75 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 มีการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ดีใกล้เคียงกับถังปฏิกรณ์ที่ 1 เนื่องจากมีรากมากและการแพร่กระจายของรากมากเช่นเดียวกันทำให้เกิดช่องว่างที่ออกซิเจนสามารถแทรกเข้าไปในชั้นตัวกลางได้มาก จุลินทรีย์จึงใช้ออกซิเจนในกระบวนการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนได้ดี แต่จากรูปที่ 4.4 พบว่า การกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีปริมาณมากกว่าถังปฏิกรณ์ที่ 3 อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากต้นกกอเมซอนมีขนาดลำต้นเล็กกว่าต้นกรั่ม ทำให้มีการใช้น้ำน้อย

ถังปฏิกรณ์ที่ 4 (ต้นกรั่ม ต้นมรดกหยก ต้นกกอเมซอน และต้นธรรมรักษา) มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดประมาณร้อยละ 40 – 70 ดังรูปที่ 4.2 ถังปฏิกรณ์ที่ 4 มีการกำจัดไนโตรเจนค่อนข้างดี เพราะมีต้นกรั่มและต้นกกอเมซอนอยู่ด้วยทำให้เกิดการแพร่กระจายของรากเกิดช่องว่างในชั้นตัวกลาง แต่ไม่เท่าถึงถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ 3 เพราะต้นมรดกหยกมีรากน้อยและต้นธรรมรักษามีส่วนของรากเป็นเหง้า จึงช่วยทำให้เกิดการแทรกผ่านของออกซิเจนในชั้นตัวกลางมีไม่มากนัก ทำให้จุลินทรีย์ประเภทที่ใช้ออกซิเจนมีการเจริญเติบโตน้อย ปริมาณไนโตรเจนของน้ำออกจึงมีมากกว่าถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ 3

จากการศึกษาความสามารถของบึงประดิษฐ์ในการบำบัดฟอสฟอรัส โดยน้ำเสียเข้าระบบความเข้มข้นเฉลี่ยเริ่มต้นของฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟต พอลิฟอสเฟต และฟอสเฟตในรูปสารอินทรีย์ (Cooper และคณะ, 1996) มีความเข้มข้นประมาณ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทำการทดลองพบว่า การบำบัดฟอสฟอรัสของถังปฏิกรณ์ที่ทั้ง 5 ถัง ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังแสดงได้ในรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก-4 ภาคผนวก ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ทั้ง 5

จากรูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสของระบบบึงประดิษฐ์อยู่ระหว่างร้อยละ 82 – 88 กระบวนการการบำบัดฟอสฟอรัสเกิดจากกลไกหลัก ได้แก่ กระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Biological oxidation) การดูดติด (Adsorption) การดูดซึมโดยพืช (Plant absorption) การเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complexation) และการตกตะกอน (Precipitation) (Watson และคณะ, 1989) พืชจะดึงฟอสฟอรัสไปใช้ในรูปฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ ซึ่งจุลินทรีย์บางชนิดสามารถแปลงรูปอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำ เป็นออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ และมีจุลินทรีย์บางชนิดสามารถเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้เช่นกัน (Bitton, 1994)

จากการที่ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารสำหรับใช้ในการบำรุงดอกของพืช ซึ่งระยะเวลาในการทดลองพืชที่ใช้ในการทดลองยังไม่ออกดอก ทำให้ฟอสฟอรัสถูกพืชใช้ไปเพียงเล็กน้อย เมื่อทำการเปรียบเทียบการกำจัดแต่ละถัง โดยสังเกตแนวโน้มแต่ละวันของแต่ละถัง พบว่าแนวโน้มแต่ละวันของแต่ละถังมีค่าคงที่ในช่วงที่ 3 – 5 โดยค่าการกำจัดฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกันมาก โดยเรียงลำดับความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ ถังปฏิกรณ์ที่ 1 , ถังปฏิกรณ์ที่ 4 , ถังควบคุม , ถังปฏิกรณ์ที่ 2 และถังปฏิกรณ์ที่ 3 ตามลำดับ เนื่องจากในถังปฏิกรณ์ที่ 1 อาจมีจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายฟอสฟอรัสมาก จุลินทรีย์จะได้รับออกซิเจนจากช่องว่างระหว่างตัวกลางซึ่งเกิดจากรากพืชที่ยาวสามารถขนไซไปได้ลึก ทำให้ออกซิเจนผ่านไปได้มากส่งผลให้การกำจัดดีขึ้น สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 3 สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้น้อยกว่าถังอื่นๆ อาจเป็นไปได้ว่าจุลินทรีย์มีจำนวนไม่มากเทียบเท่ากับถังปฏิกรณ์อื่น ๆ แต่เมื่อสังเกตโดยภาพรวมของระบบแล้วนั้น พบว่าถังปฏิกรณ์แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละถึงในระบบมีความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสได้ใกล้เคียงกัน อาจเนื่องจากปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียสังเคราะห์มีปริมาณน้อย จุลินทรีย์ยังสามารถทำการย่อยสลายได้ รวมถึงชั้นตัวกลางสามารถดูดซับได้ด้วย

4.4 ผลของค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ (OLR) ต่อความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียของพืชในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง

ค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์มีผลต่อความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เมื่อค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์มาก ระบบจะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากตามไปด้วย ซึ่งค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ ได้จากผลคูณของความเข้มข้นในน้ำเสียสังเคราะห์กับปริมาณน้ำเสียที่เติมในแต่ละถังปฏิกรณ์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำเสียที่เติม เช่น ลักษณะภูมิอากาศ ชนิดของพืช และอัตราการคายน้ำของพืช (Evapotranspiration) เป็นต้น

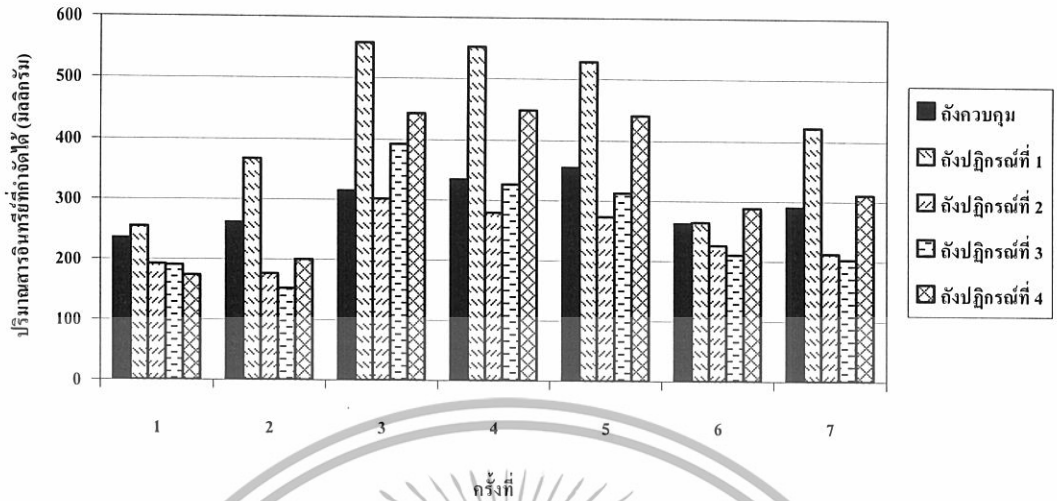
จากการทดลองพบว่าพืชแต่ละชนิดมีอัตราการใช้น้ำ และการคายน้ำไม่เท่ากันจึงทำให้การเติมน้ำในแต่ละวันของแต่ละถังมีปริมาณต่างกัน และในบางวัน (ครั้งที่ 6) มีการเติมน้ำน้อยกว่าวันอื่น ๆ ทั้งนี้เพราะสภาพอากาศมีความชื้นสูง เนื่องจากฝนตก ทำให้พืชมีอัตราการคายน้ำต่ำ ปริมาณน้ำเสียที่เติมในแต่ละถังปฏิกรณ์แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณของน้ำเสียที่เติมในแต่ละวันของแต่ละถังปฏิกรณ์

ครั้งที่	ปริมาณของน้ำเสียที่เติม (ลิตรต่อวัน)				
	ถังควบคุม	ถังปฏิกรณ์ที่ 1	ถังปฏิกรณ์ที่ 2	ถังปฏิกรณ์ที่ 3	ถังปฏิกรณ์ที่ 4
1	3.1	3.7	3	3.3	2.8
2	3.3	5.8	3.4	3.9	4.6
3	3.3	6	3.2	4.2	4
4	3.4	6.1	3.4	4.4	4.6
5	3.2	5.4	3.2	4.3	4.4
6	3	3.3	3.1	3.2	3.3
7	3	5	3	3.5	3.7

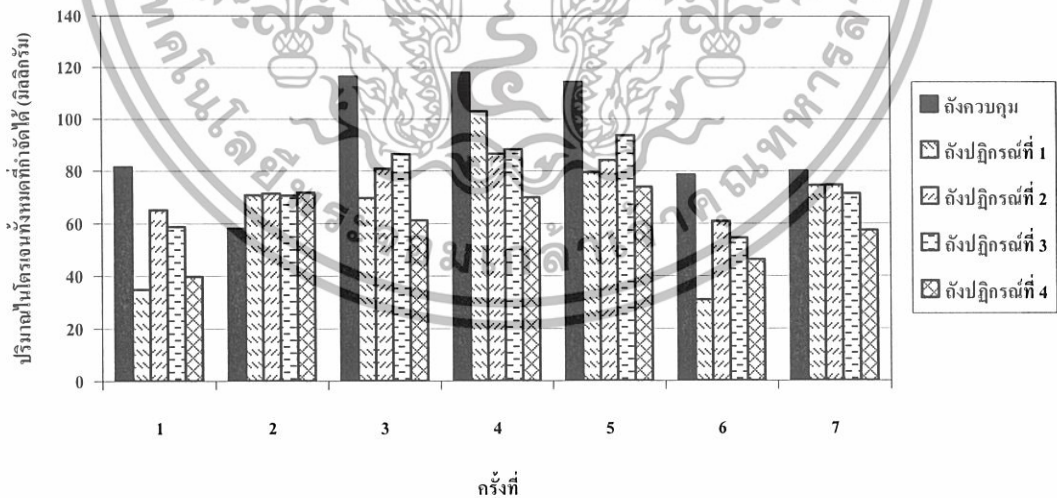
ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าสูงที่สุด แต่เมื่อกำหนดค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์พบว่า ถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีปริมาณการกำจัดสารอินทรีย์ในแต่ละวันสูงกว่าถังปฏิกรณ์อื่นอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก-5 ภาคผนวก ก) รองลงมาคือถังปฏิกรณ์ที่ 4 ถังปฏิกรณ์ที่ 3 ถังปฏิกรณ์ที่ 2 และถังควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดการอินทรีย์ของตั้งปฏิกรณ์ทั้ง 5

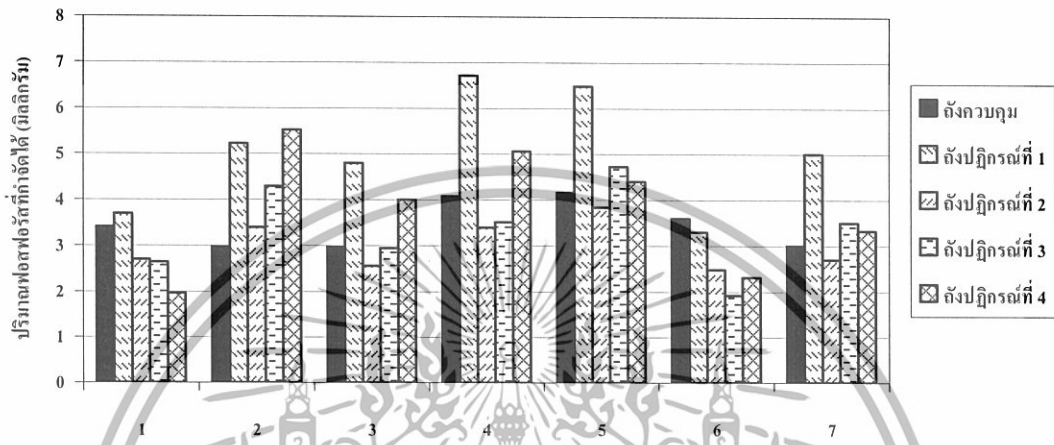
ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดตั้งปฏิกรณ์ที่ 1 และ 3 มีค่าใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.2) แต่เมื่อคำนึงถึงค่าการรองรับสารอินทรีย์ พบว่าปริมาณการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของตั้งปฏิกรณ์แต่ละตั้งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยตั้งปฏิกรณ์ที่ 4 มีปริมาณการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดต่ำกว่าตั้งปฏิกรณ์ทั้งหมดเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก-6 ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของตั้งปฏิกรณ์ทั้ง 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของทั้ง 5 ถังปฏิกรณ์ มีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อคำนึงถึงค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ พบว่าในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีปริมาณการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้มาก เพราะมีภาระการรองรับสารอินทรีย์มาก ส่วนถังปฏิกรณ์อื่นมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก-7 ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.6 – เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ทั้ง 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง ความสามารถในการเจริญเติบโตและความทนทานต่อน้ำเสียของพืชที่อยู่ในระบบบึงประดิษฐ์ และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของพืชโดยใช้พืชชนิดเดียวและพืชหลายชนิด คือ ต้นกรรรม ต้นมรดกหยก ต้นกกอเมซอน และ ต้นธรรมรักษา ซึ่งน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้มีคุณลักษณะใกล้เคียงกับน้ำเสียชุมชน โดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์ 5 ถัง คือ ถังควบคุม ไม่มีต้นไม้อ่างปฏิกรณ์ที่ 1 – 4 มีการปลูกต้นไม้ ซึ่งในถังปฏิกรณ์ที่ 1 ทำการปลูกต้นกรรรม ถังปฏิกรณ์ที่ 2 ปลูกต้นมรดกหยก ถังปฏิกรณ์ที่ 3 ทำการปลูกต้นกกอเมซอน และถังปฏิกรณ์ที่ 4 ปลูกต้นไม้ 4 ชนิด ได้แก่ ต้นกรรรม ต้นมรดกหยก ต้นกกอเมซอน และต้นธรรมรักษา จากนั้นนำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วน ซีโอดี : ไนโตรเจนทั้งหมด : ฟอสฟอรัส เท่ากับ 100:10:2 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการทดลองโดยสร้างฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) เพื่อให้เกิดแบคทีเรียเป็นเวลา 3 เดือน จากนั้นทำการทดลองเพื่อหาการเจริญเติบโตของต้นไม้ทั้ง 4 ชนิด ในระบบบึงประดิษฐ์ โดยทำการสังเกตการเจริญเติบโตของพืชโดยทำการบันทึกลักษณะทั่วไปของพืช พบว่า พืชทั้ง 4 ชนิดมีการเจริญเติบโตได้ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วน ซีโอดี : ไนโตรเจนทั้งหมด : ฟอสฟอรัส เท่ากับ 400:40:8 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองพบว่าต้นมรดกหยกมีใบสีเหลือง ไม่แข็งแรง เนื่องจากเป็นพืชที่ต้องการแดดอ่อนและไม่ใช้พืชน้ำ แต่เนื่องจากระบบอยู่กลางแจ้ง จึงเป็นผลให้ต้นไม้อ่อนแอ สำหรับต้นไม้ชนิดอื่น ๆ มีความทนต่อสภาพแวดล้อม มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยมีการแตกดินอ่อนของพืชทั้ง 3 ชนิด

สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ (ค่าซีโอดี) ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 – 4 มีค่าเท่ากับร้อยละ 83.4, 69.6, 89.0 และ 77.1 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 – 4 มีค่าเท่ากับร้อยละ 69.5, 33.6, 71.5 และ 51 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 – 4 มีค่าเท่ากับร้อยละ 88.0, 85.1, 82.8 และ 86.7 ตามลำดับ พบว่าถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ 3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสสูงใกล้เคียงกัน เนื่องจากต้นไม้ที่อยู่ในแต่ละถัง มีรากที่สามารถแทรกลงไปในตัวกลางที่เป็นทราย ซึ่งทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเม็ดทราย อากาศสามารถผ่านเข้าไปได้บริเวณช่องว่าง ทำให้จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนเติบโตได้ และสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสได้รวดเร็วกว่าแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียของแต่ละถึงปฏิกรณ์พบว่า การกำจัดสารอินทรีย์ (ค่าซีโอดี) ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีการกำจัดได้ดีที่สุด แต่เมื่อคำนึงถึงค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ พบว่าถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีการกำจัดสารอินทรีย์ในแต่ละวันได้ในปริมาณมากกว่า ส่วนการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 และ 3 มีการกำจัดได้ใกล้เคียงกัน เมื่อคำนึงถึงค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ พบว่าถึงปฏิกรณ์แต่ละถึงสามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ใกล้เคียงกัน และการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในแต่ละถึงปฏิกรณ์ มีการกำจัดได้ใกล้เคียงกัน เมื่อคำนึงถึงค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ พบว่าถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดทั้งหมดในแต่ละวันได้มากที่สุด

จากการทดลองพบว่า ถึงปฏิกรณ์ที่มีกรปลูกพืชหลายชนิด มีการบำบัดน้ำเสียได้น้อยกว่าถึงปฏิกรณ์ที่ปลูกพืชชนิดเดียว (ต้นกรั่ม และต้นกกอเมซอน) เพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของพืช ดังนั้น การปลูกพืชหลายชนิดในระบบบึงประดิษฐ์สามารถกำจัดสารอินทรีย์และนำมาจัดเป็นสวนให้ความสวยงามได้ จึงเหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับระบบบึงประดิษฐ์ที่ชุมชนสวนสาธารณะ และรีสอร์ท

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ระยะเวลาในการทดลองควรใช้เวลานาน เพื่อให้เห็นประสิทธิภาพการบำบัดและการเจริญเติบโตของพืช
2. ควรทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระดับความสูงต่างๆ ของระบบประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง
3. ควรศึกษาชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในชั้นตัวกลางของระบบบึงประดิษฐ์
4. ควรศึกษาพืชชนิดอื่นๆ ที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และ พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย. 2544. **ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม**. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- กิติพร พรหมเทศน์ และ สุนัน แรมสว่าง. 2544. **การกำจัดโครเมียมจากน้ำเสียด้วยต้นรูดปลาชี่**. โครงการงานพิเศษระดับปริญญาตรี. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์. 2539. **วิธีบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland System) ในการบำบัดน้ำเสีย**. กรุงเทพฯ : มิตรนภากรพิมพ์.
- จรงค์ จันทร์เจริญสุข. 2530. **เคมีของดิน (Soil Chemistry)**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชลอ จารุสุทธีรัชย์, วรพรรณ ชินคลองพร, วีรยา เพ็ญผล และ ศวรรยา เลหาประภานนท์. 2548. **การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ทีโอซี ซีไอดี บีไอดี และค่าการดูดกลืนแสงยูวีของสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม**. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคณะ. 2530. **น้ำเสียชุมชนและปัญหามลภาวะทางน้ำในเขต กทม. และปริมณฑล**. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. กรุงเทพมหานคร.
- พิศาล โรจน์รัตนาวิชัย และ สุกัญญา เกียรติพงษ์ชัย. 2546. **การกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสียโดยใช้ระบบ Subterra**. โครงการงานพิเศษระดับปริญญาตรี. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2536. **ข้อพิจารณาเกี่ยวกับปริมาณและลักษณะน้ำทิ้งชุมชนในประเทศไทย**. เอกสารประกอบการประชุม สวสท'36. กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2538. **โครงการศึกษาเพื่อจัดลำดับความสำคัญการจัดการน้ำเสียชุมชน**. กรุงเทพมหานคร.
- อุไร จิรมงคลการ. 2548. **คู่มืออนุรักษ์ต้นไม้ พรรณไม้น้ำ เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 6 : กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์บ้านและสวน.
- อุไร จิรมงคลการ. 2548. **คู่มืออนุรักษ์ต้นไม้ พรรณไม้น้ำ เล่ม 2**. พิมพ์ครั้งที่ 4 : กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์บ้านและสวน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Bedford, B.L., Bouldin, D.R. and Beliveau, B.D. 1991. **Net Oxygen and Carbon-Dioxide Balances in Solutions Bathing Roots of Wetland Plants.** *Journal of Ecology*. 79(4), pp. 943-959.
- Bitton, A., Neuman, M. and Glantz, S. 1994. **Tobacco Industry Strategies for Influencing European Community Tobacco Advertising Legislation.** *The Lancet*, 359(9314), April 13, 2002, pp. 1264-1265.
- Brix, H. 1993. **Wastewater Treatment in Constructed Wetland: System Design, Removal Processes, and Treatment Performance.** *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. CRC Press, Boca Taton, Florida.
- Brix, H. 1994. **Functions of Macrophytes in Constructed Wetlands.** *Water Science and Technology*. 29, 71-78.
- Campbell, S. and Ogden, M. 1999. **Aquatic Plants and Wastewater Renovation.** *Constructed Wetland in the Sustainable Landscape*, John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 21.
- Cooper, P.F. and Boom, A.G. 1987. **The Use of Phragmites for Wastewater Treatment by the Root Zone Method: the UK Approach.** *Aquatic Plants for Wastewater Treatment and Resource Recovery*, Magnolia Public Inc., Orlando, Florida.
- Cooper, P.F., Job, G.D., Green, M.B. and Shutes, R.B.E. 1996. **Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment.** WRC Publications, Medmenham, Marlow, UK.
- 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*.
- Faulkner, S.P. and Richardson, C.J. 1989. **Physical and Chemical Characteristic of Freshwater Wetland Soils.** *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural*. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, pp. 41-72.
- Hammer, D.A. and Knight, R.L. 1992. **Designing Constructed Wetland for Nitrogen Removal in Proceedings, Wetland System in Water Pollution Control.** University of New South Wales, Sydney, Australia.
- Klomjek, P. and Nitorisavut, S. 2005. **Constructed Treatment Wetland: A Study of Eight Plant Species under Saline Conditions.** *Chemosphere* 58, 585-593.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Kyambadde, J.K.F, Gumaelius, L. and Dalhammar, G. 2004. **A Comparative Study of *Cyperus papyrus* and *Miscanthidium violaceum* based Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in a Typical Climate.** Water Research 38, 475-785.
- Lee, W., Kang, S. and Shin, H. 2003. **Sludge Characteristics and their Contribution to Microfiltration in Submerged Membrane Bioreactors.** Journal of Membrane Science 216, 217-227.
- Luederitz, V., Eckert, E., Lange, W.M., Lange, A. and Gersberg, M.R. 2000. **Nutrient Removal Efficiency and Resource Economics of Vertical Flow and Horizontal Flow Constructed Wetlands.** Ecological Engineering 18, 157-171.
- Moshiri, G.A. 1993. **Constructed Wetlands for Water Quality Improvement.** CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, p.632.
- Patrick, W.H., Jr. and Khalid, R.A. 1974. **Phosphate Release and Sorption by Soils and Sediments: Effect of Aerobic and Anaerobic Conditions.** Science 186, 53-55.
- Qualls, R.G. and Richardson, C.J. 1995. **Phosphorus Enrichment Affects Litter Decomposition, Immobilization, and Soil Microbial Phosphorus in Wetland Mesocosms.** Soil Science Society of America Journal 64(2000), 799-808.
- Richardson, C.J. 1985. **Mechanisms Controlling Phosphorus Retention Capacity in Freshwater Wetlands.** Science. 228, 1424-1427.
- Richardson, C.J. and Vaithyanathan, P. 1995. **Phosphorus Sorption Characteristics of the Everglades Soils along an Eutrophication Gradient.** Soil Science. Soc. Am. 59, 1782-1788.
- Stowell, R., Ludwig, R., Colt, J. and Tchobanoglous, G. 1981. **Concepts in Aquatic Treatment System Design.** Journal of Environmental Engineering Division, ASCE. 107, 919-940.
- Vymazal, J. 1998. **Removal Mechanism and Types of Constructed Wetlands.** Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe.
- Watson, J.T., Reed, S.C., Kadlec, R.H., Knight, R.L. and Whitehouse, A.E. 1989. **Performance Expectations and Loading Rates for Constructed Wetlands.** Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, 319-358.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Watson, J.T. 1999. **Watson's Constructed Wetlands Presentation: Constructed Wetlands for Wastewater Treatment.**

Available: <http://www.ce.udel.edu/wwross/wetland/present.htm> [1999, 21 Nov.].

www.apec-vc-in.th

http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

รายละเอียดผลการทดลอง

ตารางที่ ก-1 จำนวนใบที่เปลี่ยนแปลงของพืชที่ใช้ในการทดลอง

ตั้งปฏิกรณ์ที่		ต้นที่			
		1	2	3	4
2	จำนวนใบแรกเริ่ม (ใบ)	20	28	18	21
	ต้นกรรม	28	37	23	32
3	จำนวนใบแรกเริ่ม (ใบ)	7	10	9	5
	ต้นมรกตหยก	8	11	10	7
4	จำนวนใบแรกเริ่ม (ใบ)	12 ใบ 2 ข้อ	15 ใบ 2 ข้อ	14 ใบ 2 ข้อ	13 ใบ 2 ข้อ
	ต้นกอกเมซอน	16 ใบ 2 ข้อ	20 ใบ 2 ข้อ	17 ใบ 3 ข้อ	17 ใบ 4 ข้อ
5	จำนวนใบแรกเริ่ม (ใบ)	2	12	9	33
	ต้นธรรมรักษา, ต้นกอกเมซอน, ต้นมรกตหยก และ ต้นกรรม	3	17	12	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 ปริมาณค่าซีไอดี (mg/L) ของน้ำที่ออกจากระบบในแต่ละวัน

ครั้งที่	ถังควบคุม				ถังปฏิกรณ์ที่ 1				ถังปฏิกรณ์ที่ 2				ถังปฏิกรณ์ที่ 3				ถังปฏิกรณ์ที่ 4								
	1	2	3	X	S.D.	1	2	3	X	S.D.	1	2	3	X	S.D.	1	2	3	X	S.D.					
1	74.5	77.2	76.2	76.0	1.4	53.4	62.8	57.2	57.8	4.7	66.4	71.1	68.5	68.7	2.4	17.9	20.4	19.3	19.2	1.3	73.5	69.2	71.2	71.3	2.2
2	88.3	72.5	77.2	79.3	8.1	40.1	38.5	38.7	39.1	0.9	53.3	58.7	55.4	55.8	2.7	23.6	26.8	25.1	25.2	1.6	74.7	70.4	72.0	72.4	2.2
3	97.9	92.3	95.7	95.3	2.8	90.8	96.4	93.3	93.5	2.8	125.5	153.4	148.4	148.1	5.5	25.5	30.2	27.9	27.9	2.4	129.9	136.5	134.5	133.6	3.4
4	95.4	101.2	98.4	98.3	2.9	71.5	76.8	73.9	74.1	2.7	141.8	149.7	145.0	145.5	4.0	50.7	55.4	53.1	53.1	2.4	97.5	92.1	94.7	94.8	2.7
5	389	108.9	112.6	110.8	1.9	69.9	75.4	72.9	72.7	2.8	152.4	157.2	155.2	154.9	2.4	74.8	78.5	77.1	76.8	1.9	80.2	84.6	82.3	82.4	2.2
6	405	85.9	89.4	87.2	1.8	64.2	67.7	65.8	65.9	1.8	128.6	133.8	131.3	131.2	2.6	63.9	59.8	61.7	61.8	2.1	87.5	91.2	89.7	89.5	1.9
7	405	93.7	99.2	97.1	2.8	50.8	59.2	57.8	57.9	1.2	134.6	142.4	138.8	138.6	3.9	38.5	43.1	40.9	40.8	2.3	88.3	91.4	90.0	89.9	1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 ปริมาณไนโตรเจนรวม (mg/L) ของน้ำที่ออกจากระบบในแต่ละวัน

ครั้งที่	หน้าเข้า	ถังควบคุม				ถังปฏิกรณ์ที่ 1				ถังปฏิกรณ์ที่ 2				ถังปฏิกรณ์ที่ 3				ถังปฏิกรณ์ที่ 4								
		1	2	3	X	S.D.	1	2	3	X	S.D.	1	2	3	X	S.D.	1	2	3	X	S.D.					
1	40	25.4	26.6	26.9	26.3	0.8	9.3	9.1	9.8	9.4	0.4	22.0	21.8	21.3	21.7	0.4	10.3	11.0	11.1	10.8	0.4	16.9	17.8	17.8	17.5	0.5
2	40	16.9	18.0	17.9	17.6	0.6	12.1	11.9	12.6	12.2	0.4	21.3	19.2	22.5	21.0	1.7	12.5	11.8	12.3	12.2	0.4	22.6	21.8	23.1	22.5	0.7
3	40	34.8	35.7	35.4	35.3	0.5	10.9	11.9	12.0	11.6	0.6	24.2	25.7	26.0	25.3	1.0	10.2	9.8	11.2	10.4	0.7	11.9	12.3	11.8	12.0	0.3
4	39	34.5	35.1	34.5	34.7	0.3	16.7	16.8	17.2	16.9	0.3	26.1	24.9	25.3	25.5	0.6	9.9	10.3	11.0	10.4	0.6	19.9	20.5	20.2	20.2	0.3
5	39	36.2	35.5	35.7	35.8	0.4	15.3	14.9	15.9	14.7	0.7	25.7	26.5	26.7	26.3	0.5	12.1	11.6	12.3	12.0	0.4	22.6	22.7	23.7	23.0	0.6
6	41	26.2	25.9	26.5	26.2	0.3	9.3	9.5	9.4	9.4	0.1	19.3	19.8	19.7	19.6	0.3	11.5	10.7	11.7	11.3	0.5	17.9	18.5	18.2	18.2	0.3
7	41	25.8	26.6	27.7	26.7	1.0	14.3	16.1	14.3	14.9	1.0	24.2	25.1	25.4	24.9	0.6	10.7	10.3	11.4	10.8	0.6	22.2	23.5	22.4	22.7	0.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-4 ปริมาณฟอสฟอรัส (mg/L) ของน้ำที่ออกจากระบบในแต่ละวัน

ครั้งที่	น้ำเข้า	ถังควบคุม				ถังปฏิกรณ์ที่ 1				ถังปฏิกรณ์ที่ 2				ถังปฏิกรณ์ที่ 3				ถังปฏิกรณ์ที่ 4									
		1	2	3	X	S.D.	1	2	3	X	S.D.	1	2	3	X	S.D.	1	2	3	X	S.D.						
1	7.4	1.0	1.1	1.1	1.1	0.1	0.9	0.8	0.8	0.8	0.1	0.6	0.5	0.6	0.6	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.1
2	8.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.1	1.1	1.1	1.4	1.1	0.0	1.3	1.3	1.8	1.5	0.3	1.7	1.7	1.9	1.8	0.1	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	0.1
3	8.0	0.8	0.8	1.0	0.9	0.1	0.7	0.7	0.6	0.7	0.1	1.8	1.8	1.8	1.8	0.0	1.7	1.8	1.8	1.8	0.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	0.1
4	7.0	1.1	1.1	1.3	1.2	0.1	0.9	0.8	0.9	0.9	0.1	1.6	1.7	1.6	1.6	0.1	1.5	1.4	1.4	1.4	0.1	0.7	0.7	0.7	0.9	0.8	0.1
5	7.0	1.4	1.3	1.4	1.4	0.1	1.0	1.1	1.4	1.1	0.1	0.9	1.0	1.1	1.0	0.1	1.6	1.6	1.7	1.6	0.1	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	0.1
6	7.7	1.2	1.2	1.2	1.2	0.0	0.6	0.6	0.7	0.6	0.1	0.7	0.7	0.7	0.7	0.0	0.9	0.8	0.9	0.9	0.1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.0
7	7.7	0.9	1.0	1.0	1.0	0.1	1.0	0.9	1.1	1.0	0.1	0.6	0.7	0.6	0.6	0.1	1.2	1.2	1.2	1.2	0.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-5 ปริมาณการกำจัดซีโอดี (มิลลิกรัม) ของน้ำที่ออกจากระบบในแต่ละวัน เมื่อกำเนินถึงภาระการรองรับสารอินทรีย์ (OLR)

ครั้งที่	น้ำเข้า	ปริมาณซีโอดีที่กำจัดได้เมื่อคิดค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ (มิลลิกรัม)				
		ถึงควบคุม	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1	ถึงปฏิกรณ์ที่ 2	ถึงปฏิกรณ์ที่ 3	ถึงปฏิกรณ์ที่ 4
1	399	236	255	192	191	174
2	393	262	367	176	152	200
3	393	314	557	302	393	443
4	389	334	551	279	326	449
5	389	355	528	273	313	441
6	405	263	265	226	211	288
7	405	290	422	213	203	310
x	396	293	421	238	255	329
S.D.	7	43	130	48	88	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-6 ปริมาณการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด (มิลลิกรัม) ของน้ำที่ออกจากระบบในแต่ละวัน เมื่อดำเนินถึงภาวการรองรับสารอินทรีย์ (OLR)

ครั้งที่	น้ำเข้า	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่กำจัดได้เมื่อคิดค่าภาวการรองรับสารอินทรีย์ (มิลลิกรัม)				
		ถึงควบคุม	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1	ถึงปฏิกรณ์ที่ 2	ถึงปฏิกรณ์ที่ 3	ถึงปฏิกรณ์ที่ 4
1	40	82	35	659	59	40
2	40	58	71	71	71	72
3	40	116	70	81	87	61
4	39	118	103	87	88	70
5	39	115	79	84	94	74
6	41	79	31	61	54	46
7	41	80	75	75	71	57
x	40	92	66	75	75	60
S.D.	1	24	25	10	15	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-7 ปริมาณการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัม) ของน้ำที่ออกจากระบบในแต่ละวัน เมื่อคำนึงถึงการรองรับสารอินทรีย์ (OLR)

ครั้งที่	น้ำเข้า	ปริมาณฟอสฟอรัสที่กำจัดได้เมื่อคิดค่าการรองรับสารอินทรีย์ (มิลลิกรัม)			
		ถึงควบคุม	ถึงปฏิบัติการที่ 1	ถึงปฏิบัติการที่ 2	ถึงปฏิบัติการที่ 3
1	7.38	3	4	3	2
2	7.95	3	5	3	6
3	7.95	3	5	3	4
4	6.98	4	7	4	5
5	6.98	4	6	4	4
6	7.66	4	3	2	2
7	7.66	3	5	3	3
x	8	3	5	3	4
S.D.	0	1	1	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้