สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสียโดยใช้ระบบ Subterra

T055572

พิศาล โรจน์รัตนาวิชัย
สุกัญญา เกียรติพวงชัย

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่
เลขทะเบียน 55572
วัน,เดือน,ปี 19 พ.ค. 2548
b
i
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Removal of Organic Substances from Wastewater using Subterra System

Pisarn Rojrattanawichai

Sukanya Kiatipoangchai

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

Acedemic Year 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสียโดยใช้ระบบ Subterra

นักศึกษา นาย พิศาล โรจน์รัตนาวิชัย

นางสาว สุกัญญา เกียรติพวงชัย

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน	.....
กรรมการ ดร.อุสารัตน์ ภักดีสู่สุข	.....
กรรมการ อาจารย์ กรองแก้ว ทิพยศักดิ์	.....
กรรมการ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์	.....

.....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสียโดยใช้ระบบ Subterra
นักศึกษา นายพิศาล โรจน์รัตนาวิชัย
นางสาวสุกัญญา เกียรติพวงชัย
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์
ระดับการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสีย ด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวดิ่ง (Vertical Flow Constructed Wetlands) หรือระบบ Subterra เปรียบเทียบกับแบบจำลองของระบบบึงประดิษฐ์ที่เรียกว่า "ระบบ Demo" ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาถึงได้แก่ ค่าภาระการรองรับน้ำต่อหน่วยพื้นที่ (Hydraulic Loading Rate : HLR) และค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate : OLR) จากผลการทดลองพบว่า ทั้งระบบ Subterra และระบบ Demo มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อน NMP ได้ โดยระบบ Subterra สามารถบำบัด ซีโอดี (COD), บีโอดี (BOD), แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) และ ทีเคเอ็น (TKN) ได้ 62.47%, 88.94%, 57.04% และ 44.41% ตามลำดับ สำหรับระบบ Demo พบว่าสามารถใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาการทำงานของระบบ Subterra ได้ โดยสามารถบำบัดCOD, BOD, NH_3-N และ TKN ได้ 61.78%, 87.86%, 91.33% และ 63.53% ตามลำดับ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของน้ำทิ้งอยู่ในระดับที่ไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของค่า HLR ในการบำบัดน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 0.141 m^3/m^2.day นอกจากนี้มีการศึกษาความสามารถในการเจริญเติบโตของต้นธรรมรักษา(Herigonia) ในระบบ Demo พบว่าต้นธรรมรักษามีความทนทานต่อสภาวะน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ได้ โดยความสูงเพิ่มขึ้นประมาณ 8.0 ถึง 12.5 เซนติเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 3 เดือน

คำสำคัญ : ค่าภาระการรองรับน้ำ, ค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์, ต้นธรรมรักษา, ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Removal of Organic Substances from Wastewater using Subterra System.

Name Mr. Piram Rojrattanawichai

Miss Sukanya Kiatipoangchai

Special Project Advisor Dr. Chalor Jarusutthirak

Department Environment Resources Chemistry

Academic Year 2003

Abstract

In the experiment, removal efficiency of organic substances from wastewater was studied. The wastewater was treated using vertical flow constructed wetland. The so-called "Subterra" system and its simulated system, called "Demo system" were compared for their treatment efficiencies. The factors affecting treatment efficiencies, including hydraulic loading rate (HLR) and organic loading rate (OLR) were investigated. Both systems, achieved a satisfactory result on removal efficiency. Subterra system obtained removal efficiency for COD, BOD, ammonia nitrogen (NH_3-N) and TKN of 62.47%, 88.94%, 57.04% and 44.4%, respectively. Demo system was found to be a pilot-scale representative for a study of subterra system. The percent removal of COD, BOD, (NH_3-N) and Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) treated by Demo systems were 61.78%, 87.86%, 91.3% and 63.53%, respectively. The values of effluent parameters were found to be acceptable compared to industrial effluent standard. The study determined optimum conditions of HLR for both systems as 0.141 m^3/m^2.day . Besides, experimental plantation of Herigonia in Demo system using organic substances contaminated in wastewater for plant watering was conducted. The study indicated durability of the plant using organic substances contaminated water. The plant height increased 8 - 12.5 cm. within 3 months of plantation.

Keyword : Hydraulic Loading Rate (HLR), Organic Loading Rate (OLR), Herigonia, Vertical flow constructed wetland

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษได้รับความอนุเคราะห์จึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงงานพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน ดร. อุสารัตน์ ภักดีสู่สุข อาจารย์ กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ อาจารย์พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ดร.อภิศักดิ์ โพธิ์ปั้น และอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในระหว่างการดำเนินโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานโครงงานพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ Mr. Thomas Sack คุณประมุข คุณวัฒนา และทางบริษัท รีไซเคิลเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด ที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินโครงงานพิเศษนี้เป็นอย่างดี

นอกเหนือจากบุคคลที่ได้กล่าวมาแล้วยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ และให้กำลังใจตลอดโครงงานพิเศษนี้ ทางผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ
พิศาล โรจน์รัตนาวิชัย
สุกัญญา เกียรติพวงชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ไทย)	ก
บทคัดย่อ (อังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การบำบัดแบบธรรมชาติ (Natural Treatment)	4
2.1.1 ระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland)	4
2.1.2 กลไกการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์	8
2.2 การกรองของชั้นดิน (Soil Filtration)	11
2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของดินและทราย	11
2.2.2 กลไกการบำบัดโดยการเกิด Biofilm	11
2.3 พืชที่ใช้ในการศึกษา	12
2.3.1 ต้นอ้อ	12
2.3.2 ต้นธรรมรักษา	13
2.3.3 ความสัมพันธ์ทางสรีรวิทยาเชิงนิเวศน์ของพืชน้ำ กับการแลกเปลี่ยนออกซิเจน	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.4 N-Methylpyrrolidone (NMP) 17
2.4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี 18
2.4.2 ข้อมูลทางพิษวิทยาและเชิงนิเวศน์ 19
2.4.3 ประโยชน์ของ NMP ในอุตสาหกรรม 19
2.4.4 การย่อยสลายทางชีวภาพของ NMP 20
2.5 ระบบ Subterra ของบริษัท รีไซเคิลเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด 21
2.5.1 รายละเอียดของระบบบำบัดน้ำเสีย 22
2.5.2 แบบจำลองระบบ Subterra(Demo system) 27
2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 30
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 30
3.3 แหล่งที่มาของน้ำเสีย 31
3.4 การเริ่มเดินระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท รีไซเคิลเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด 31
3.5 การดำเนินการทดลอง 31
3.6 วิธีการวิเคราะห์ 33
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์
4.1 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสีย 34
4.2 การศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบ Subterra และระบบ Demo 35
4.3 ผลของค่าภาระการรองรับน้ำ (HLR) ต่อการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจน 39
4.4 ผลของอัตราการรองรับสารอินทรีย์ (OLR) ต่อการกำจัดสารอินทรีย์ 43
4.5 เปรียบเทียบกระบวนการแปรเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน ที่อยู่ในน้ำทิ้งทั้งบ่อตกตะกอน, ระบบ Subterra และระบบ Demo 44
4.6 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ Subterra กับระบบ Demo 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

4.7 ความสามารถในการเจริญเติบโตของต้นธรรมรักษาภายใน
แบบจำลองระบบ Subterra 49
บทที่5 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ 51
บรรณานุกรม 53
ภาคผนวก ก 56
ภาคผนวก ข 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 กลไกการบำบัดน้ำเสียของระบบ Subterra 7

ตารางที่ 3.1 ปัจจัยที่ศึกษา 33

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย 33

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ Subterra 34

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี T-test เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ระหว่างระบบ Subterra และ ระบบ Demo 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ 6
ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของเสียที่เป็นสารอินทรีย์, มวลของจุลินทรีย์, สารอินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณออกซิเจนที่ถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในรูปของค่าบีโอดีที่ช่วงเวลาต่างๆ 8
ภาพที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงสารไนโตรเจนในระบบบำบัดแบบธรรมชาติ 9
ภาพที่ 2.4 ลักษณะของต้นอ้อ 12
ภาพที่ 2.5 ลักษณะของต้นธรรมรักษาแบบช่อดอกตั้ง (Erect) และช่อดอกห้อย (Pendent) 13
ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างสมดุลนิเวศน์วิทยาของธูปฤาษีในพื้นที่ชุ่มน้ำ 14
ภาพที่ 2.7 การศึกษาในพื้นที่ชุ่มน้ำ ณ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ 16
ภาพที่ 2.8 การสังเคราะห์สาร N-Methylpyrrolidone (NMP) 17
ภาพที่ 2.9 แผนภาพแสดงระบบบำบัดน้ำเสียของ บริษัท รีไซเคิลเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด 21
ภาพที่ 2.10 บ่อเติมอากาศ (Aerated Pond) 23
ภาพที่ 2.11 บ่อตกตะกอน 24
ภาพที่ 2.12 ระบบ Subterra ของบริษัท รีไซเคิลเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด 25
ภาพที่ 2.13 ภาพตัดขวางของระบบ Subterra 26
ภาพที่ 2.14 บ่อธรรมชาติ (Natural Pond) 26
ภาพที่ 2.15 แบบจำลองของระบบ Subterra (Demo System) 27
ภาพที่ 4.1 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียจากบ่อตกตะกอน, ระบบ Subterra และระบบ Demo 36
ภาพที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่า COD ของบ่อตกตะกอน, ระบบ Subterra และระบบ Demo 36
ภาพที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่า BOD ของบ่อตกตะกอน, ระบบ Subterra และระบบ Demo 37
ภาพที่ 4.4 การเปรียบเทียบปริมาณเจลคาลห์ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ของบ่อตกตะกอน, ระบบ Subterra และระบบ Demo 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของบ่อตกตะกอน, ระบบ Subterra และระบบ Demo 38
ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจนของบ่อตกตะกอน, ระบบ Subterra และระบบ Demo 39
ภาพที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าภาระการรองรับน้ำ (HLR) กับประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีของระบบ Subterra และระบบ Demo 40
ภาพที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าภาระการรองรับน้ำ (HLR) กับประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดีของระบบ Subterra และระบบ Demo 41
ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าภาระการรองรับน้ำ (HLR) กับประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณเจลดาลห์ไนโตรเจน ของระบบ Subterra และระบบ Demo 42
ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าภาระการรองรับน้ำ (HLR) กับประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของระบบ Subterra และระบบ Demo 42
ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดของค่าบีโอดีกับค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ ทั้งระบบ Subterra และระบบ Demo 43
ภาพที่ 4.12 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย, ไนไทรต์และไนเทรต ภายใน บ่อตกตะกอน 44
ภาพที่ 4.13 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย, ไนไทรต์และไนเทรต ภายใน ระบบบำบัดน้ำทิ้งระบบ Subterra 45
ภาพที่ 4.14 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย, ไนไทรต์และไนเทรต ภายใน แบบจำลองระบบบำบัดน้ำทิ้งระบบ Demo 45
ภาพที่ 4.15 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละพารามิเตอร์ที่ค่าภาระการรองรับน้ำต่างๆ ของระบบ Subterra 47
ภาพที่ 4.16 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละพารามิเตอร์ที่ค่าภาระการรองรับน้ำต่างๆ ของระบบ Subterra 48
ภาพที่ 4.17 ลักษณะของต้นธรรมรักษาที่ทำการปลูกภายในระบบ Demo เป็นระยะเวลา 2 เดือน 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ

BOD	(Biochemical Oxygen Demand)	: ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์
COD	(Chemical Oxygen Demand)	: ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยสารเคมี
CWS	(Constructed Wetland System)	: ระบบบึงประดิษฐ์
DO	(Dissolved Oxygen)	: ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ
DOC	(Dissolved Organic Carbon)	: ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายอยู่ในน้ำ
EC_{50}	(Effective Concentration$_{50}$)	: ความเข้มข้นของสารทดสอบเมื่อให้สัตว์ทดลองได้รับเข้าไปแล้วทำให้แสดงอาการเกิดพิษครึ่งหนึ่งของสัตว์ทดลองทั้งหมด
FWS	(Free Water Surface System)	: ระบบแบบน้ำไหลอยู่บนผิวดิน
GC	(Gas Chromatograph)	: เครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟ
HLR	(Hydraulic Loading Rate)	: ภาระการรองรับน้ำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่
LC_{50}	(Lethal Concentration$_{50}$)	: ปริมาณสารทดสอบที่สัตว์ทดลองได้รับเข้าไปในร่างกายแล้วทำให้สัตว์ทดลองตายครึ่งหนึ่ง (50%) ของจำนวนสัตว์ทดลองทั้งหมด โดยมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของสารทดสอบ/น้ำหนักของสัตว์ทดลองที่ใช้ 1 กิโลกรัม
LD_{50}	(Lethal Dose$_{50}$)	: ปริมาณสารทดสอบที่สัตว์ทดลองได้รับเข้าไปในร่างกายแล้วทำให้สัตว์ทดลองตายครึ่งหนึ่ง (50%) ของจำนวนสัตว์ทดลองทั้งหมด โดยมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของสารทดสอบ/น้ำหนักของสัตว์ทดลองที่ใช้ 1 กิโลกรัม
NMP	(N-Methylpyrrolidone)	: สารอินทรีย์ N-Methylpyrrolidone
OLR	(Organic Loading Rate)	: ภาระการรองรับสารอินทรีย์ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่
SFS	(Subsurface Flow System)	: ระบบแบบน้ำไหลใต้ผิวดิน
TKN	(Total Kjeldahl Nitrogen)	: ผลของแอมโมเนียและสารอินทรีย์ไนโตรเจนทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOC	(Total Organic Carbon)	: ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด
ppm	(part per million)	: หนึ่งส่วนในล้านส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

การพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม ด้านเกษตรกรรม และอื่นๆ มีผลให้สารเคมีเป็นจำนวนมากหลายชนิดถูกผลิตขึ้นมาใช้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ องค์การสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติได้รายงานว่ามีสารเคมีจำนวนมากประมาณได้กว่า 7 ล้านชนิดเกิดขึ้นในโลก ในจำนวนนี้ 80,000 ชนิด เป็นสารเคมีที่มนุษย์นำมาใช้ในกิจกรรมต่างๆ สำหรับการดำเนินชีวิตประจำวัน คือ นำมาใช้ในเกษตรกรรม อุตสาหกรรม เป็นส่วนประกอบในอาหาร เครื่องอุปโภค บริโภค และสาธารณูปโภค รวมทั้งยารักษาโรค (ทวีศักดิ์, 2546) สารเคมีดังกล่าวได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้ไม่มากก็น้อยทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเฉพาะน้ำเสียจากสารเคมีเหล่านี้จะก่อให้เกิดผลกระทบที่สร้างปัญหาให้กับแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งทางกายภาพและทางเคมี แม้ว่าในปัจจุบันได้มีการใช้ระบบกำจัดน้ำเสียเพื่อให้เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดแล้วก็ตาม แต่ปัญหาแหล่งน้ำเน่าเสียจากการปล่อยน้ำทิ้งที่ไม่ได้มาตรฐานยังคงมีให้พบเห็นอยู่ทั่วไป

ระบบบำบัดน้ำเสียเป็นส่วนหนึ่งของการลงทุนที่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายไม่น้อยในการเดินระบบและดูแลรักษาเพื่อให้อยู่ในสภาพที่ดีและใช้งานได้ตลอดเวลา การเลือกระบบบำบัดน้ำเสียจึงควรพิจารณาจากหลายๆ ปัจจัยด้วยกัน อาทิเช่น สารที่ปนเปื้อน ลักษณะของน้ำเสีย รวมถึงพื้นที่และความสามารถในการดูแลรักษาระบบ โครงงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียที่เรียกว่าระบบ Subterra ของบริษัทแห่งหนึ่งใน อำเภอพนัสนิคม จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นบริษัทบำบัดสารเคมีจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม ระบบนี้อาศัยการบำบัดตามวิธีธรรมชาติด้วยหลักการของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวดิ่ง (Vertical-Flow Constructed Wetlands) เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการอุปโภคบริโภคภายในอาคารสำนักงานของบริษัท และบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของ N-Methylpyrrolidone (NMP) จากภาคอุตสาหกรรมที่นำไปใช้ในการล้างอุปกรณ์อิเล็คทรอนิก ซึ่งทางบริษัทฯ รับมาบำบัด กระบวนการทำงานของระบบเป็นการทำงานร่วมกันระหว่าง น้ำ ดิน จุลินทรีย์ พืช และอากาศ (เกรียงศักดิ์, 2537) พืชที่ปลูกอยู่ในพื้นที่เป็นพืชชนิดที่มีรากอยู่ใต้ดิน ทั้งต้นและใบสามารถอยู่ในน้ำและในอากาศได้ พบได้ในเขตพื้นที่ชื้นแฉะ โดยพืชส่วนใหญ่ที่ใช้ในระบบแบบบึงประดิษฐ์ ได้แก่ พุทธรักษา ธูปฤาษี กก เป็นต้น การปลูกพืชด้านบนของระบบทำให้เราสามารถใช้ประโยชน์จากพื้นที่นั้นได้ อีกทั้งระบบจะไม่ส่งกลิ่นรบกวน ไม่เป็นอันตรายต่อแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดชนิดอื่นๆ เช่น ระบบ Activated Sludge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือระบบ Ozonation พบว่าระบบบึงประดิษฐ์นี้จะมีการใช้สารเคมีในการบำบัดน้อยกว่า ประหยัดพลังงานได้มากกว่า และเสียค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าอีกด้วย

โครงงานนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อน NMP ด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวดิ่งหรือระบบ Subterra โดยศึกษาถึงอิทธิพลของค่าภาระการรองรับน้ำต่อหน่วยพื้นที่ (Hydraulic Loading Rate, HLR), ค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ต่อหน่วยพื้นที่ (Organic Loading Rate, OLR) และความทนทานของต้นพืชต่อน้ำเสียที่ปนเปื้อน NMP รวมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบจริงและแบบจำลอง (Demo System) ที่สร้างขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการนำระบบ Demo ไปใช้เป็นตัวแทนของระบบ Subterra ในการศึกษาถึงปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ Subterra ต่อไป รวมทั้งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ และการประยุกต์ใช้ระบบ Subterra กับหน่วยงานอื่นๆ เช่น การจัดเป็นสวนสาธารณะของโรงแรม เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่มี NMP ปนเปื้อน โดยระบบ Subterra เปรียบเทียบกับแบบจำลอง (Demo System)
2. เพื่อศึกษาอัตราภาระการรองรับน้ำและอัตราภาระการรองรับสารอินทรีย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ Subterra
3. เพื่อศึกษาความทนทานและความสามารถในการเจริญเติบโตของต้นธรรมรักษาต่อการรับน้ำเสียที่มี NMP ปนเปื้อนอยู่

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่มี NMP ปนเปื้อนอยู่โดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวดิ่งที่เรียกว่า ระบบ Subterra โดยแปรค่าภาระการรองรับน้ำที่เข้าสู่ระบบ (0.085, 0.113, 0.141 และ 0.169 $m^3/m^2.day$) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม พร้อมทั้งนำผลที่ได้มาศึกษาค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพการบำบัด

2. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่มี NMP ปนเปื้อนอยู่โดยใช้แบบจำลองของระบบ Subterra ที่สร้างขึ้นเป็นอัตราส่วนกับระบบจริง เพื่อทดสอบว่าแบบจำลองสามารถใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ Subterra ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ศึกษาความสามารถของต้นธรรมรักษาในการทนทานต่อน้ำเสียที่มี NMP ปนเปื้อนอยู่โดยทำการปลูกลงในแบบจำลองระบบ Subterra ที่มีแปรค่าภาระการรองรับน้ำที่เข้าสู่ระบบ เช่นเดียวกับข้อ 1 โดยการวัดความสูงและการแตกหน่อของพืช

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงโครงสร้างและองค์ประกอบต่างๆ ของระบบ Subterra ซึ่งเป็นระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวดิ่ง

2. ทราบถึงค่าอัตราการรองรับน้ำ (HLR) ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อน NMP ด้วยระบบ Subterra

3. สามารถนำผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลอง (Demo System) มาประยุกต์ใช้กับระบบจริงเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ Subterra

4. ช่วยส่งเสริมการนำระบบไปปรับใช้กับหน่วยงานอื่นๆ ได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การบำบัดแบบธรรมชาติ (Natural Treatment)

การบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติเป็นการทำงานร่วมกันของน้ำ ดิน พืช จุลชีพ และบรรยากาศ เพื่อปรับสภาพน้ำเสียให้เป็นน้ำที่มีสารปนเปื้อนลดน้อยลง โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องจักรกลต่างๆ มาทำการบำบัดน้ำเสีย วิธีนี้จะอาศัยกลไกธรรมชาติมาบำบัดน้ำเสียเป็นหลัก ซึ่งเป็นวิธีที่ประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้า พึ่งพาอาศัยผู้ควบคุมระบบน้อยกว่าระบบบำบัดอื่น ๆ การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติแบ่งตามลักษณะวิธีได้ดังนี้ (เกรียงศักดิ์, 2537) คือ

1. วิธีบำบัดน้ำเสียแบบกระจายบนดิน (Land Treatment System)
   1). ระบบอัตราไหลช้า (Slow-Rate System)
   2). ระบบไหลซึมเร็ว (Rapid Infiltration System)
   3). ระบบน้ำไหลนอง (Overland-Flow System)
2. วิธีบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland System)
   1). แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน (Free Water Surface System, FWS)
   2). แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow System, SFS)
3. วิธีพืชลอยน้ำ (Floating Aquatic Plant Treatment System)
   1). ผักตบชวา (Water Hyacinth System)
   2). แหน (Duckweed System)

โดยโครงงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียโดยใช้วิธีบึงประดิษฐ์เท่านั้น จึงขอกล่าวเฉพาะหลักการของการบำบัดแบบธรรมชาติด้วยวิธีบึงประดิษฐ์เพียงลักษณะเดียว

2.1.1 ระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland Systems)

ลักษณะทั่วไปของบึงประดิษฐ์ประกอบด้วยชั้นของดิน พืช อากาศ และน้ำ โดยลักษณะของชั้นดินควรจะมีความพรุนที่น้อยเพื่อให้น้ำไหลซึมผ่านได้ช้า ลักษณะของพืชที่ใช้ปลูกควรมีลำต้นที่สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในอากาศและใต้น้ำ เพื่อช่วยเป็นตัวกรองและตัวดูดซับสารปนเปื้อนต่างๆ ในน้ำเสีย และเป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะได้ ในส่วนของอากาศทำให้ระบบอยู่ในสภาวะที่ใช้ออกซิเจนในการเกิดปฏิกิริยาและช่วยให้เกิดการระเหยของสารที่สามารถระเหยได้ง่ายอีกด้วย ลักษณะของน้ำเสียก่อนเข้าระบบควรมีการบำบัดขั้นต้นด้วยระบบตกตะกอนก่อนปล่อยลงพื้นที่และอาจเติมอากาศเล็กน้อยลงในน้ำเสียก่อนปล่อยเข้าบึงประดิษฐ์ ที่สำคัญต้องกำจัดสาหร่ายไม่ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปนเปื้อนในน้ำเสียโดยเด็ดขาด เมื่อพิจารณาประเภทของระบบบึงประดิษฐ์จะมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภทใหญ่ คือ แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน (Free Water Surface System, FWS) และแบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow System, SFS) ดังนี้

1). แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน (FWS) วิธีบึงประดิษฐ์แบบนี้ประกอบด้วยบ่อดินที่น้ำไหลซึมลงดินได้น้อย จะมีอยู่หลายบ่อวางเรียงขนานกัน มีระดับน้ำลึกประมาณ 10-60 เซนติเมตร มีพืชชนิดต่าง ๆ ขึ้นมากมายอาจมีปลาหรือสัตว์น้ำอื่นๆ อาศัยอยู่ด้วย พืชที่นิยมใช้ปลูกได้แก่ ต้นกก ต้นอ้อ และต้นธูปฤาษี การเติมอากาศลงน้ำจะมาจากพืช ลมพัด และจากการสังเคราะห์แสงเป็นส่วนใหญ่ ในการปล่อยให้น้ำเสียไหลลงบึงประดิษฐ์นี้ควรให้ไหลลงช้าๆ ผ่านก้านต้นพืช และรากพืชต่างๆ ซึ่งเป็นขั้นตอนหลักที่ทำการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้ ดังแสดงในภาพที่ 2.1(a)

2). แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (SFS) วิธีบึงประดิษฐ์แบบนี้ประกอบด้วยบ่อดินประมาณ 30 ถึง 80 เซนติเมตร แล้วทำการปูด้วยแผ่น Polyethylene (PE) เพื่อกั้นไม่ให้น้ำซึมลงใต้ชั้นดินของบ่อ จากนั้นนำก้อนหินขนาดเหมาะสมวางที่ด้านบนของแผ่น PE ส่วนก้นบ่อควรมีความลาดของบ่อประมาณ 1 % เพื่อให้น้ำไหลลงโดยไม่มีการกักขังเกิดขึ้น บริเวณปลายท้ายน้ำของก้นบ่อจะมีท่อดักที่เจาะรูรอบท่อ เพื่อทำหน้าที่รับน้ำทิ้งออกจากระบบบึงประดิษฐ์ ระบบนี้จะอาศัยการเติมอากาศด้วยพืชเป็นหลัก การกระจายน้ำเสียเข้าสู่ระบบจะใช้หัวกระจายน้ำเสียหรือท่อเจาะรูด้านข้าง เพื่อกระจายน้ำเสียให้ทั่วตลอดแนวท่อของบึง ซึ่งควรมีค่าภาระการรองรับน้ำต่อหน่วยพื้นที่ประมาณ 0.01 - 0.05 $m^3/m^2.day$

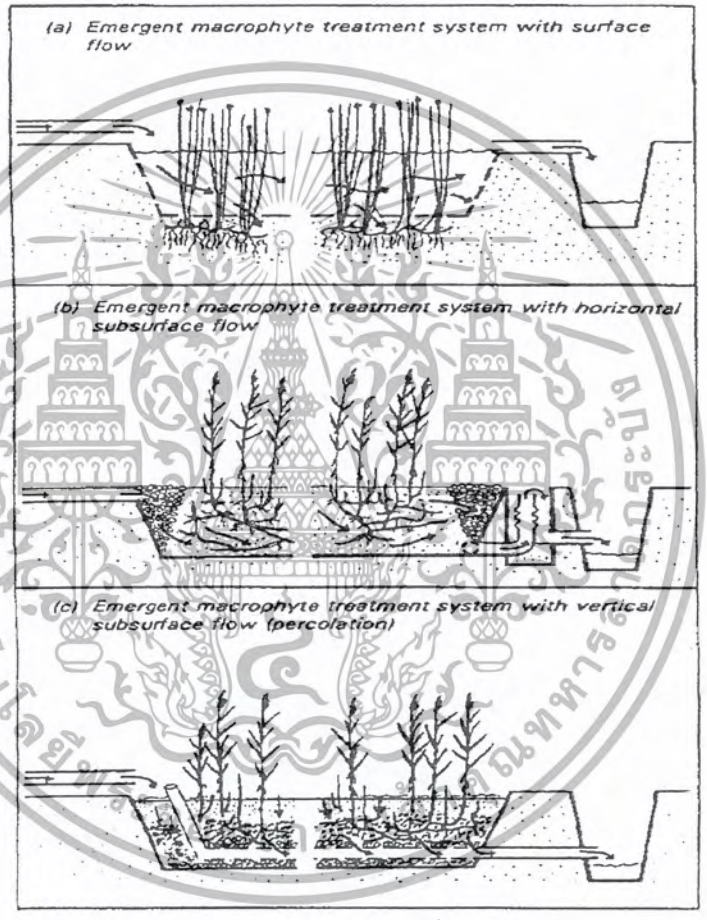
วิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow Systems Constructed Wetland) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบน้ำไหลในแนวนอน (Horizontal Subsurface Flow) และแบบน้ำไหลในแนวดิ่ง (Vertical Subsurface Flow)

- แบบน้ำไหลในแนวนอน **(Horizontal Subsurface Flow)**

การบำบัดน้ำเสียเป็นแบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอนถูกประยุกต์ขึ้นโดยชาวเยอรมันในปี 1970 ลักษณะของต้นแบบประกอบด้วยพืชน้ำ คือ *Phragmites austrialis* ด้านก้นบ่อปูด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำไหลซึมลงใต้ดิน ตัวกลางที่ใช้ในการปลูกพืชอาจจะเป็น ดิน หิน หรือทราย โดยจะมีปลายท่อที่ปล่อยน้ำวางอยู่ทางด้านหนึ่งบริเวณด้านบนของชั้นตัวกรอง และส่วนปลายท่อที่รองรับน้ำที่ออกจากระบบจะวางอยู่อีกด้านหนึ่งบริเวณก้นบ่อ ดังแสดงในภาพที่ 2.1(b) เมื่อปล่อยน้ำให้ซึมผ่าน สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ทำให้ไนโตรเจนถูกขจัดออกไป ฟอสเฟตและโลหะหนักอื่นๆ ถูกดูดติดไว้ภายในชั้นของดิน โดยรากของพืชจะทำหน้าที่ที่สำคัญ คือ ถ่ายเทออกซิเจนให้กับสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในรากพืช และควบคุมการเคลื่อนที่ของน้ำในดินให้คงที่ โดยมีบางส่วนของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับโดยพืช ระบบบึงประดิษฐ์ในลักษณะนี้ได้ถูกนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปใช้ทั่วไปกว่า 100 แห่งในประเทศเดนมาร์ก เยอรมนี และอังกฤษ (Lim และ Polprasert, 1996) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย และสารอินทรีย์(BOD)ให้ลดลง คุณภาพน้ำเสียที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับระบบบำบัดขั้นที่สองโดยทั่วไป แม้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสเฟตจะยังไม่คงที่ก็ตาม เนื่องจากขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ภาระการรองรับน้ำของระบบ และส่วนประกอบต่างๆ ในน้ำเสีย



ที่มา : Gerald, 2000

ภาพที่ 2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยแบบบึงประดิษฐ์ : (a)แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน (Free Water Surface System, FWS) ; (b) แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน (Horizontal Subsurface Flow System) ; (c) แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวดิ่ง (Vertical Subsurface Flow System)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **แบบน้ำไหลในแนวดิ่ง (Vertical Subsurface Flow)**

จากภาพที่ 2.1(c) ลักษณะของบึงประกอบด้วยท่อหรือยางที่เจาะรูด้านข้าง วางกระจายอยู่ทั่วด้านบนของชั้นตัวกรอง เมื่อทำการปล่อยให้น้ำไหลซึมผ่านชั้นตัวกลางอย่างไม่ต่อเนื่อง (Batch System) จะเป็นการเพิ่มการเติมออกซิเจนลงในดินได้มากขึ้นหลายเท่า เมื่อเทียบกับแบบน้ำไหลในแนวนอน โดยช่วงที่ทำการปล่อยน้ำจะทำให้อากาศถูกไล่ออกจากชั้นดิน และเมื่อหยุดปล่อยน้ำ ดินจะเริ่มแห้งทำให้อากาศในชั้นบรรยากาศถูกดึงลงในช่องว่างของชั้นดิน ด้วยเหตุนี้ออกซิเจนที่อัดลงไปในชั้นดินจึงเพิ่มสูงขึ้น โดยความเร็วที่ออกซิเจนกระจายลงในชั้นดินมีค่ามากกว่าประมาณ 10,000 เท่าของการกระจายลงไปในน้ำ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาระหว่างออกซิเดชั่นและรีดักชั่นสลับกัน ทำให้เกิดกระบวนการ Nitrification-Denitrification และการดูดซับฟอสเฟตขึ้น นอกจากนี้ระบบยังสามารถลดกลิ่นได้มากกว่าระบบบ่อบำบัดแบบอื่นด้วย (Gerald, 2000)

สำหรับลักษณะการบำบัดน้ำเสีย ที่เกิดขึ้นภายในระบบจะมีทั้งการบำบัดโดย วิธีการทางชีวภาพ และกายภาพ นอกจากนี้แล้วกลไกในการบำบัดน้ำเสีย สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กลไกการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวดิ่ง

Pollutant	Removal Processes
- Organic material [measured as BOD]	Biological degradation, Sedimentation
- Organic contaminants [eg. pesticides]	Adsorption, Volatilization, Photolysis Biotic / Abiotic degradation
- Suspended solids	Sedimentation, Filtration
- Nitrogen	Sedimentation, Nitrification / Denitrification, Microbial uptake, Plant uptake, Volatilization
- Phosphorus	Sedimentation, Filtration, Adsorption Plant and Microbial uptake
- Pathogens	Natural die – off, Sedimentation, Filtration, Predatation, UV degradation, Adsorption
- Heavy metals	Sedimentation, Adsorption, Plant uptake

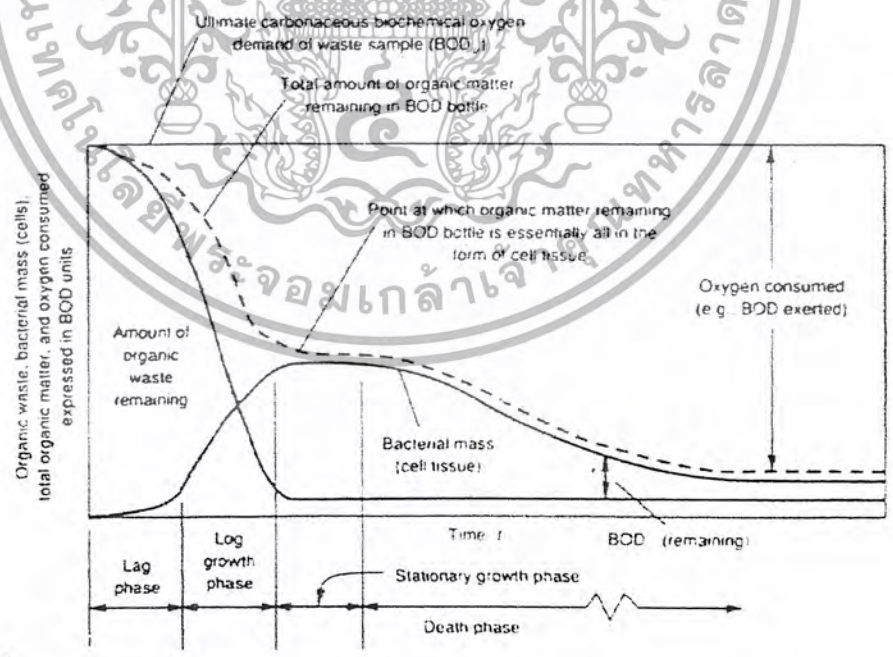
ที่มา : Gerald, 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 กลไกการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์

การบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมของดินและน้ำ โดยวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนอันได้แก่ ของแข็งแขวนลอย (SS), สารอินทรีย์, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, ธาตุอื่น ๆ จุลชีพ และเชื้อโรคจากน้ำเสียชนิดต่างๆ เป็นต้น (เกรียงศักดิ์, 2537) ดังจะได้อธิบายต่อไปนี้

สารอินทรีย์ วิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีธรรมชาติสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียได้โดยอาศัยกระบวนการทางชีวภาพแบบใช้อากาศ คือ พวกจุลชีพที่เกาะอยู่ตามผิวเม็ดดินและรากพืชจะอาศัยออกซิเจนจากบรรยากาศดำรงชีพอยู่ได้ และจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.2 อนึ่งการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนก็มีบางส่วนเกิดขึ้นภายในชั้นดินบ้างแต่มีไม่มากนัก โดยปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพสามารถวัดออกมาเป็นค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen demand : BOD) ได้ ดังนั้น ควรคำนึงถึงปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในระบบ คือ ปริมาณออกซิเจนที่ถ่ายเทเข้าสู่ระบบต้องมีมากกว่าปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในระบบที่แสดงอยู่ในรูปของค่า BOD



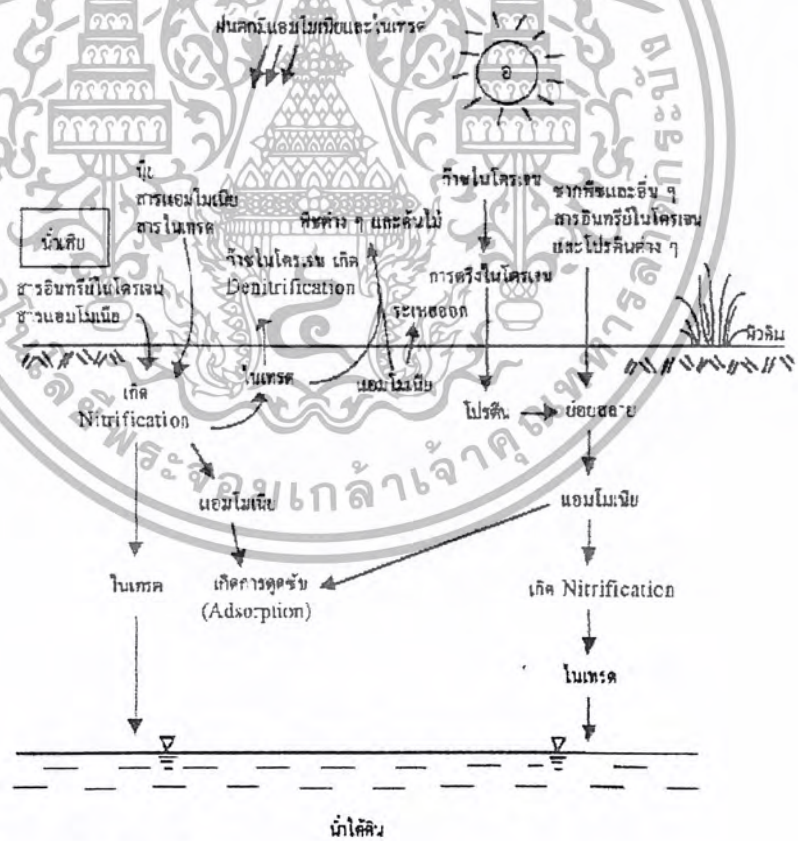
ที่มา : Gerald, 2000

ภาพที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงของเสียที่เป็นสารอินทรีย์, มวลของจุลินทรีย์, สารอินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณออกซิเจนที่ถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในรูปของค่าบีโอดีที่ช่วงเวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแข็งแขวนลอย (SS) ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่ไหลผ่านบนดินสามารถถูกกำจัดหรือแยกออกมาจากน้ำเสียได้ โดยอาศัยการตกตะกอน การกรองผ่านชั้นดิน หรือการกรองผ่านรากพืชต่างๆ พบว่าน้ำเสียมักจะไปอุดตันบริเวณชั้นบนของพื้นที่ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ดังนั้นจึงควรจะต้องออกแบบให้ระบบสามารถลดปัญหาดังกล่าวได้มากที่สุด

ไนโตรเจน ไนโตรเจนในน้ำเสียมักจะมีในรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจน และสารแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งสารไนโตรเจนจะก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียได้ เพราะเป็นสารที่ทำให้เกิดความต้องการใช้ออกซิเจนค่อนข้างมากสารหนึ่ง ทำให้เกิดการขาดออกซิเจนในน้ำจึงเกิดปัญหากลิ่นเหม็นได้ วิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีธรรมชาติสามารถกำจัดสารไนโตรเจนในน้ำเสียได้ โดยจะออกมาในรูปของอากาศ คือ ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ในรูปของพืชต่าง ๆ คือ ถูกต้นไม้และพืชอื่นๆ นำสารไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียและไนเทรตมาใช้ และในรูปของสารไนเทรตต่างๆ ที่ซึมลงไปใต้ดินอาจผสมกับน้ำใต้ดิน ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ที่มา : เกรียงศักดิ์, 2537

ภาพที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงสารไนโตรเจนในระบบบำบัดแบบธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสในน้ำเสียมักจะมีในรูปของสารอินทรีย์ฟอสฟอรัส สารพอลิ-ฟอสเฟตและสารออโธฟอสเฟต ซึ่งสารฟอสฟอรัสจะก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียได้ เพราะเป็นสารที่ทำให้เกิดความต้องการใช้ออกซิเจนค่อนข้างมากสารหนึ่ง โดยทั่วไปการกำจัดฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสียสามารถกำจัดได้โดยวิธีทางชีวภาพที่มีระบบขาดอากาศชั่วคราว และระบบเติมอากาศสลับกันไปมา และอาจสามารถกำจัดได้โดยวิธีทางเคมีซึ่งทำให้เกิดปัญหาสลัดจ์เกิดมากขึ้น ในการกำจัดสารฟอสฟอรัสในน้ำเสียด้วยวิธีธรรมชาติ จะสามารถกำจัดได้โดยหลักการดูดซับ แต่อาจมีปัญหาเกิดการอิ่มตัวของปริมาณฟอสฟอรัสบริเวณชั้นดินบางบริเวณได้ หรือถ้าใช้พืชน้ำก็อาจเกิดการอิ่มตัวขึ้นได้เช่นเดียวกัน

ธาตุอื่น ๆ ธาตุต่าง ๆ ในที่นี้บางตัวอาจเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับพืชต่างๆ แต่ธาตุบางตัวจะเป็นธาตุที่มีพิษเมื่อมีปริมาณมากขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อพืชและจุลชีพต่างๆ เช่น แคดเมียม โครเมียม ปรอท เป็นต้น เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดด้วยวิธีธรรมชาติแล้ว ธาตุต่าง ๆ จะถูกจับไว้ โดยอาศัยการดูดซับ การตกผลึก และการแลกเปลี่ยนประจุ โดยทั่วไปจะต้องมี pH ของน้ำเสียหรือบริเวณพื้นที่บำบัดน้ำเสียมากกว่า 7 จึงจะได้ประสิทธิภาพของการบำบัดอยู่ในระดับสูง แต่ถ้า pH ต่ำกว่า 7 จะเกิดปัญหากับธาตุต่างๆ โดยเฉพาะตัวที่มีพิษจะละลายปนกับน้ำออกจากระบบได้

จุลชีพและเชื้อโรคชนิดต่างๆ ในการกำจัดพวกจุลชีพและเชื้อโรคชนิดต่าง ๆ ในน้ำเสียด้วยวิธีธรรมชาติค่อนข้างได้ผลดี เพราะอาศัยทั้งการดัก การดูดซับ การตกตะกอน ฯลฯ ถ้าบริเวณพื้นที่มีพืชขึ้นมากก็ยิ่งช่วยดักเอาไว้ได้อีกทาง ทำให้การกำจัดจุลชีพและเชื้อโรคชนิดต่าง ๆ ด้วยวิธีนี้ค่อนข้างได้ผลดี แต่พบว่ายังไม่เพียงพอเมื่อต้องการกำจัดจุลชีพและเชื้อโรคชนิดต่าง ๆ ให้หมดสิ้น ซึ่งในบางแห่งอาจต้องการใช้สารเคมี เช่น คลอรีนในการกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การกรองของชั้นดิน (Soil Filtration) (จงรักษ์, 2530)

2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของดินและทราย

คุณสมบัติทางกายภาพของทรายสามารถสังเกตได้จากลักษณะภายนอกของเนื้อดิน และพฤติกรรมบางประการที่ดินแสดงออก ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชและอัตราการไหลซึมของน้ำ สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของทรายได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อนุภาคของกลุ่มดินที่ต่างกันจะทำให้ดินมีลักษณะที่แตกต่างกัน หากดินมีกลุ่มขนาดอนุภาคของทรายอยู่เป็นจำนวนมาก ก็จะทำให้ร่วนซุย ไม่เกาะกันเป็นก้อน น้ำซึมผ่านได้ง่ายและมีอัตราการระเหยน้ำจากดินที่สูง ทรายจะมีความพรุนของดินเท่ากับ 30-40% และมีความสามารถในการซึมได้ 3.4-3,400 m^3/m^2.day ซึ่งความพรุนของดินมีความสำคัญต่อคุณภาพของน้ำและปริมาณของน้ำในดินเป็นอย่างมาก เพราะความพรุนของดินจะกำหนดปริมาณน้ำที่เก็บอยู่ในดินนั้น และความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในดิน จะบ่งบอกอัตราที่น้ำเคลื่อนที่ผ่านชั้นดินไปได้

2.2.2 กลไกการบำบัดโดยการเกิด Biofilm

ส่วนที่เป็นของแข็งของดินโดยปกติจะมีปริมาตร 40 –70 % ของปริมาตรรวมทั้งหมดของดิน ถ้าส่วนที่เหลือบรรจุด้วยน้ำจนเต็ม เรียกว่า ดินนั้นอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated) แต่โดยปกติที่ว่างส่วนที่ไม่ได้เป็นของแข็งจะมีน้ำและอากาศที่มีไอน้ำบรรจุอยู่ ในสภาพนี้เรียกว่า ดินไม่อิ่มตัว (Unsaturated) ทำให้น้ำในดินอยู่ในรูปฟิล์ม (Film) รอบอนุภาคของแข็ง โดยอนุภาคดินจะถูกดูดด้วยแรงดึงดูดจาก 2 แหล่งคือ (1) จาก Hydrogen bonding ซึ่งเป็นการดึงดูดซึ่งกันและกันระหว่างออกซิเจนอะตอมภายในโมเลกุลของน้ำ และออกซิเจนอะตอมของผิวอนุภาคดินกับไฮโดรเจนอะตอมของน้ำ และ (2) จาก Hydration ของไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ ภายในฟิล์มที่ห่อหุ้มดินจะเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตพวกจุลินทรีย์ ที่หายใจจากออกซิเจนที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเนื้อดินกับน้ำ หรือพวกที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจนในการหายใจ และทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อนำไปใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อ ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำมีค่าลดลง และปริมาณออกซิเจนที่นำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) มีค่าเพิ่มขึ้น รวมถึงการดูดซับหรือดึงสารอาหารต่างๆ จากน้ำโดยจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 พืชที่ใช้ในการศึกษา

2.3.1 ต้นอ้อ

ชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Arundo Donax L.*

ชื่อทางสามัญ reed grass, giant reed, bamboo reed อ้อหลวง อ้อใหญ่ อ้อลาย

จัดอยู่ใน Family Poaceae

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของต้นอ้อ จัดเป็นพืชที่สะเทินน้ำสะเทินบกที่มีอายุหลายปี ลำต้นเป็นเหง้าแข็งเลื้อยทอดอยู่ตามใต้ดิน ลำต้นเหนือดินแตกเป็นกอสูง 1 - 3 เมตร ภายในลำต้นกลวง ใบเดี่ยวแตกสลับกันอย่างเป็นระเบียบแผ่นใบยาวเรียว ปลายใบแหลมยาว 50 - 120 เซนติเมตร กว้าง 4 - 8 เซนติเมตร กาบใบหุ้มลำต้นไว้แน่น รอยต่อระหว่างแผ่นใบ และกาบในมีลิ้นใบเป็นเยื่อบาง ช่อดอกเป็นช่อดอกรวมที่มีก้านช่อดอกแตกเป็นแขนงย่อยจำนวนมาก ช่อดอกสีขาว ยาว 30 - 60 เซนติเมตร กว้างประมาณ 10 เซนติเมตร ช่อดอกย่อยประกอบด้วยดอกย่อย 2 – 5 ดอก ก้านช่อดอกย่อยยาว 8 – 5 มิลลิเมตร กลีบรองช่อดอกย่อยมี 2 กลีบ ยาว 10 – 13 มิลลิเมตร ดอกย่อยแต่ละดอกสมบูรณ์เพศ ภายในดอกย่อยมีขนปุยยาวเป็นสีขาว กลีบรองดอกย่อยจะมีระยางค์ยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร ผลเป็นแบบผลเดี่ยวเหมือนผลของหญ้าทั่วไป (ภาพที่ 2.4) พบได้ทั่วไปตามที่รกร้างว่างเปล่าตามริมน้ำ คลองชลประทานหรือตามหนองน้ำ (สุชาดา, 2530)

ภาพที่ 2.4 ลักษณะของต้นอ้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ต้นธรรมรักษา

ชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Jasminun Heliconia sps.* (ประมาณ 200 – 250 species)

ชื่อทางสามัญ ธรรมรักษา, ก้ามกุ้ง (ช่อดอกตั้ง), ก้ามกุ้ง (ช่อดอกห้อย)

จัดอยู่ใน Family Heliconiaceae

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ต้นธรรมรักษาเป็นพืชที่แข็งแรงทนทาน มีอายุข้ามปี สูงประมาณ 1 –3 เมตร ไม้อวบน้ำยืนต้น (herbaceous peranial) มีลำต้นใต้ดินเรียกว่า เหง้า (rhizome) คล้ายกล้วยและขิง แตกกิ่งก้านสาขาลำต้นเหนือดิน ประกอบด้วยใบที่เรียงสลับตรงข้ามกัน (Alternate) ใบระนาบเดียวกัน แต่ละใบจะประกอบด้วยส่วนของก้านใบและตัวใบ โคนใบแผ่เป็นกาบอวบหนาหุ้มประกอบต้นไว้ ใบแก่อยู่ด้านนอกหุ้มใบอ่อนไว้ข้างใน กาบใบด้านในมีเมือกเหนียวๆ โคนใบอวบหนากว่าปลายใบ แผ่นใบมีสีเขียว (ภาพที่ 2.5) แต่บางชนิดมีใต้ใบสีแดง โดยเฉพาะบริเวณขอบใบ (เช่น *H.reticulate, ramonensis, H. imbricata*) และใบธรรมรักษาบางชนิดมีนวลใต้ใบ (เช่น *H. collinsiana, H. curtispatha*) ปลายใบมักแหลม และที่ฐานใบด้านหนึ่งมักจะยาวกว่าอีกด้านหนึ่งของเส้นกลางใบ ดอกออกเป็นช่อ สีสันสวยงาม ช่อดอกมักแทงออกกลางลำต้นเทียมและเป็นส่วนสุดท้ายของการเจริญ ช่อดอกอาจตั้ง (Erect) หรือห้อย (Pendent) แล้วแต่ชนิดของพันธุ์ ลักษณะของผล (Drupe) มีเนื้อนุ่มและมีชั้นหุ้มเมล็ดที่แข็ง ขยายพันธุ์ด้วยการแยกกอและเมล็ด (พาณิชย์, 2540)

ภาพที่ 2.5 ลักษณะของต้นธรรมรักษาแบบช่อดอกตั้ง (Erect) และช่อดอกห้อย (Pendent)

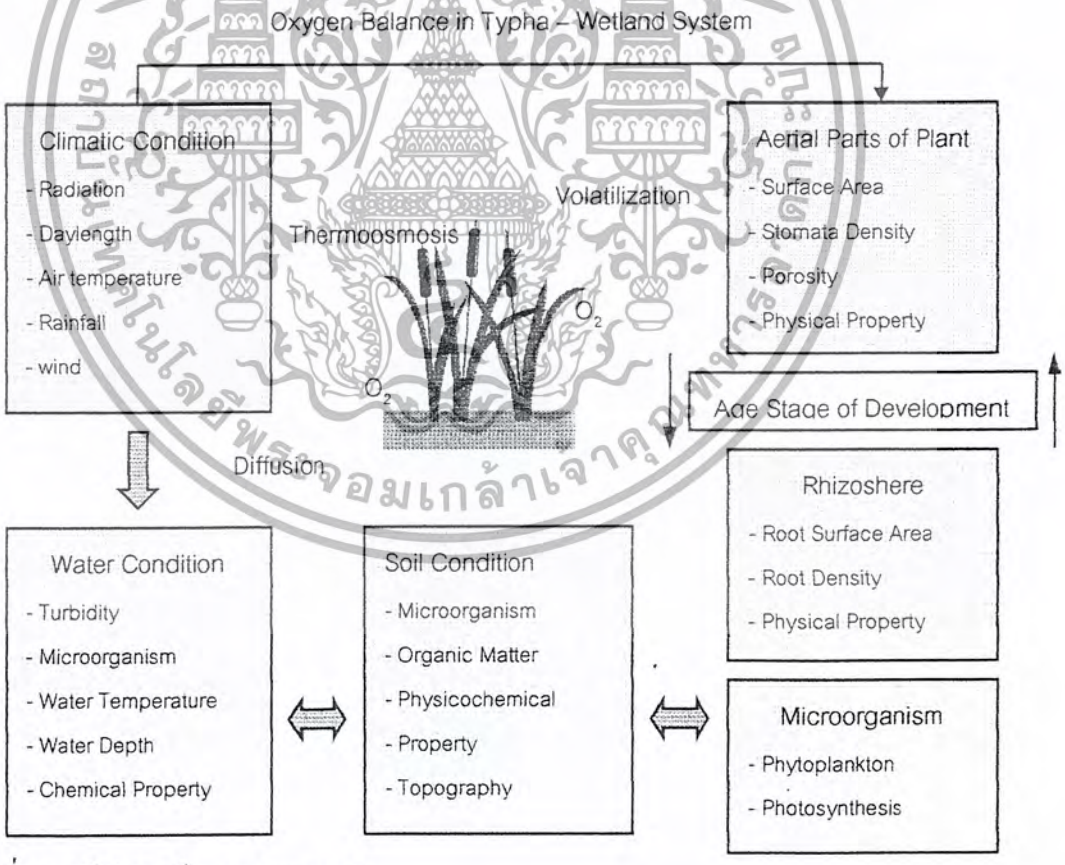
พืชทั้งสองชนิดจัดเป็นพืชน้ำที่สามารถกระจายได้ในบริเวณกว้าง พบอยู่ทั่วไปตามหนองน้ำและลำคลอง ทำให้สูญเสียพื้นที่ทางการเกษตร กีดขวางต่อการสัญจรทางน้ำ ทำให้ทางระบายน้ำและลำคลองตื้นเขิน เป็นที่อาศัยของแมลงและสัตว์ร้าย เช่น ยุง งู แต่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในแง่ของการบำบัดน้ำเสียได้ เนื่องจากรากของพืชน้ำมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ที่อยู่ในน้ำเสียค่อนข้างสูง ดังนั้นพืชน้ำจึงทำหน้าที่เหมือนตัวกรองน้ำเสีย อีกทั้งมีการแลกเปลี่ยนก๊าซกับบรรยากาศผ่านใบและราก ก้านและใบที่แผ่ขยายออกเหนือน้ำทำให้พืชน้ำมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนไปยังรากได้ (กรมชลประทาน, 2532)

2.3.3 ความสัมพันธ์ทางสรีรวิทยาเชิงนิเวศน์ของพืชน้ำกับการแลกเปลี่ยนออกซิเจน

พันธุ์ไม้น้ำจะขึ้นอยู่ในบริเวณที่เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) ที่ถูกน้ำท่วมขัง หรืออิ่มตัวด้วยน้ำใต้ดินที่มีจำนวนของการท่วมขังและช่วงเวลาของการท่วมขังนานเพียงพอที่จะทำให้พืชพรรณที่กระจายสามารถปรับตัวให้เจริญเติบโตเป็นปกติภายใต้สภาวะที่อิ่มตัวด้วยน้ำนั้น ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะไร้ออกซิเจนของดิน และกลไกทางสรีรวิทยาของพืชพรรณที่ปรับเปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลาจึงมีบทบาทสำคัญต่อสมดุลของการแลกเปลี่ยนออกซิเจนในระบบนิเวศน์ของพื้นที่ชุ่มน้ำ ดังตัวอย่างสมดุลนิเวศน์วิทยาของธูปฤาษีในพื้นที่ชุ่มน้ำในภาพที่ 2.6



ที่มา : ศรีปราชญ์ และคณะ, 2542

ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างสมดุลนิเวศน์วิทยาของธูปฤาษีในพื้นที่ชุ่มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบนิเวศน์วิทยาของพืชน้ำบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำ องค์ประกอบของระบบนิเวศน์ที่สำคัญ คือ คุณสมบัติของดิน คุณสมบัติของน้ำ สภาพภูมิอากาศ จุลินทรีย์ในดินและน้ำ และต้นพืชเอง ซึ่งองค์ประกอบดังกล่าวนี้ล้วนมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสมดุลของออกซิเจนในระบบทั้งสิ้น

คุณสมบัติของดินมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำ จุลินทรีย์ และการเจริญเติบโตของพืช ตลอดจุลินทรีย์ในดิน คุณสมบัติที่สำคัญของดินคือ คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี (เช่น ความเป็นกรดด่าง องค์ประกอบต่างๆ ของอนุภาคดิน และปริมาณธาตุอาหารในดิน เป็นต้น) และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งจุลินทรีย์จะนำไปใช้ในการย่อยสลายเพื่อสร้างเซลล์ในการเจริญเติบโต กิจกรรมต่างๆ ในดินก่อให้เกิดการใช้ออกซิเจนอันมีผลกระทบต่อสมดุลของออกซิเจนในระบบ

คุณสมบัติของน้ำเกี่ยวข้องโดยตรงกับสมดุลของออกซิเจนในระบบ และยังสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้วย ปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์และช่วงความยาวนานในรอบวัน ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และอุณหภูมิน้ำ โดยจะส่งผลต่อการละลายได้ของออกซิเจนในน้ำและกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ในน้ำและดินด้วย กระแสลมที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาย่อมมีผลต่อความขุ่นของน้ำ (turbidity) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประชากรพืชที่ปกคลุมผิวน้ำ หากในพื้นที่มีประชากรพืชน้ำหนาแน่น กระแสลมที่ก่อกวนผิวน้ำ (turbulence) จะก่อให้เกิดการหมุนเวียนของมวลน้ำ ซึ่งส่งผลต่อการขุ่นของน้ำที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่มีประชากรพืชน้ำน้อย กระแสลมย่อมก่อกวนผิวน้ำและสร้างความขุ่นของน้ำได้ง่ายและทำให้แสงส่องลงในน้ำได้น้อยลง จึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในระดับผิวดินและการกระจายของแพลงตอน สาหร่าย และจุลินทรีย์ในน้ำที่ระดับความลึกต่างๆ อีกทั้งยังอาจทำให้ความสามารถในการใช้ประโยชน์จากแสงของแพลงตอนพืช สาหร่าย และจุลินทรีย์ที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ลดลง ปริมาณออกซิเจนรวมในน้ำจึงอาจเปลี่ยนแปลงได้ในรอบวันตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (ศรีปราชญ์ และคณะ, 2542) ดังแสดงในภาพที่ 2.7

นอกเหนือจากความหนาแน่นของประชากรแล้ว ระยะการเจริญเติบโตของต้นพืชยังมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสมดุลของออกซิเจนในระบบนิเวศน์ด้วย พื้นที่ผิวส่วนเหนือดินของต้นพืชซึ่งได้แก่ พื้นที่ใบ พื้นที่ลำต้น และพื้นที่ส่วนขยายพันธุ์ (ช่อดอก) เป็นพื้นที่ที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนออกซิเจนระหว่างบรรยากาศ พืช น้ำ และดินได้ โดยผ่านทางปากใบ (stomata) ช่องว่างของเซลล์ (pore) และช่องว่างระหว่างเซลล์

Grosse (1989) กล่าวถึงประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพื้นที่ส่วนเหนือดินจะเปลี่ยนแปลงตามอายุ และระยะการเจริญเติบโตของต้นพืช ขึ้นอยู่กับแหล่งพันธุ์ อายุกล้าที่ปลูก คุณลักษณะของน้ำ และความอุดมสมบูรณ์ของดิน ขณะเดียวกันการจัดการปลูกพืช เช่น ระยะระหว่างต้น และระยะระหว่างแถว ก็อาจมีผลต่อการส่องผ่านของรังสีดวงอาทิตย์ไปสู่ระดับล่างของลำต้นและผิวน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้คุณสมบัติของเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามอายุของพืช เช่น ความต้านทานการแลกเปลี่ยนก๊าซของเซลล์ ขนาดช่องว่างของเซลล์ ซึ่งมักขยายขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น ก็อาจมีบทบาทสำคัญต่อการเคลื่อนย้ายออกซิเจนในพืชและการแลกเปลี่ยนออกซิเจนระหว่างพืชกับนิเวศน์แวดล้อมด้วย

ที่มา : ศรีปราชญ์ และคณะ, 2542

ภาพที่ 2.7 การศึกษา (a) การเปลี่ยนแปลงปริมาณแพลงตอนพืชในรอบวัน (ตัว/ลิตร) และ (b) การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, mg/L) ในน้ำที่ระดับความลึกต่างๆ ในพื้นที่ชุ่มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.4 N-Methylpyrrolidone (NMP)

NMP เป็นสารละลายใสไม่มีสี ถึงสีเหลืองอ่อน กลิ่นคล้ายเอมีน มีสภาพเป็นเบสสามารถละลายผสมกับน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ได้ จัดเป็น cyclic amide ที่สามารถสังเคราะห์ได้จาก 1,4-Butynediol ดังแสดงในภาพที่ 2.8

ที่มา : http://www.basf.com/static/OpenMarket/Xcelerate/Preview_Cid-974236981086_pubid-9742367

ภาพที่ 2.8 การสังเคราะห์สาร N-Methylpyrrolidone (NMP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
55572

NMP เป็นตัวทำละลายที่มีความเสถียรมาก และมีขั้วแรง ซึ่งเป็นประโยชน์มากในการทำปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ปฏิกิริยา Hydrolysis, Oxidation, Condensation, Polymerization, O-alkylation และปฏิกิริยาอื่นที่สัมพันธ์กัน

2.4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี (http://www.merck.co.th/eng/manual/msds/thai/1052/105215.htm)

1. สูตรโครงสร้าง		C_5H_9NO
2. น้ำหนักโมเลกุล		99.134
3. ความถ่วงจำเพาะ	25 °C	1.033
4. ค่าพีเอช 100 g/l น้ำ		8.5-100
5. ความหนืด		1.80 mPa*s
6. จุดหลอมเหลว		-24 องศาเซลเซียส
7. จุดเดือด		202 องศาเซลเซียส
8. อุณหภูมิติดไฟ		245 องศาเซลเซียส
9. จุดวาบไฟ		91 องศาเซลเซียส
10. ขอบเขตการระเบิด ล่าง		1.3 %(v/v)
	บน	9.5%(v/v)
11. ความดันไอ	40 องศาเซลเซียส	1.3 mbar
	20 องศาเซลเซียส	0.32 mbar
12. ความหนาแน่น	20 องศาเซลเซียส	1.03 g/cm^3
11. ความสามารถในการละลายน้ำ		25 องศาเซลเซียส
		100 g/100 gH_2O
12. Henry's Law Constant		1.56 x 10^{-8} atm/m^3- mol
13. KOH		7.4 x'10 $^{-8}$ cm^3/ molecular-second
14. log Kow		- 0.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ข้อมูลทางพิษวิทยาและเชิงนิเวศน์ (http://www.merck.co.th/eng/manual/msds/thai/1052/105215.htm)

NMP มีลักษณะเป็นของเหลวระเหยได้ เมื่อสูดดมไอระเหยจะเกิดอาการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ และเมื่อสัมผัสกับผิวหนังโดยตรงจะเกิดการระคายเคืองเฉพาะที่ ความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute Toxicity) การให้ NMP แก่หนูทางปากจะมี LD_{50} 3,914 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวของหนู 1 กิโลกรัม (ทำให้สัตว์ทดลองตาย 50 เปอร์เซ็นต์) ถ้าได้รับทางผิวหนังแก่กระต่ายจะมี LD_{50} 8,000 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวของหนู 1 กิโลกรัม แต่ถ้าให้สูดดมทางจมูกแก่หนูจะมี LC_{50} 5.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายใน 4 ชั่วโมง ส่วนความเป็นพิษกึ่งเฉียบพลันถึงเรื้อรัง (Long term Toxicity) ของสาร NMP จะไม่ส่งผลกระทบที่เป็นพิษต่อทารกในครรภ์ ภายใต้ปริมาณความเข้มข้นที่ยอมให้มีได้

ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ แบ่งออกเป็น ความเป็นพิษต่อปลาจะมี LD_{50} มากกว่า 4,600 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายใน 48 ชั่วโมง หรือ LD_{50} 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายใน 96 ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้สัตว์จำพวกปลาตาย 50 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นพิษต่อไรน้ำ EC_{50} มากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายใน 24 ชั่วโมง จะส่งผลกระทบต่อสัตว์จำพวกไรน้ำ ความเป็นพิษต่อสาหร่ายจะมี EC_{50} มากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายใน 72 ชั่วโมง และความเป็นพิษต่อแบคทีเรียจะมี EC_{50} มากกว่า 9,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายใน 48 ชั่วโมง โดยสาร NMP จะไม่ส่งผลต่อระบบบำบัดน้ำทิ้ง หากมีการใช้สารและจัดการสารเคมีอย่างเหมาะสม

2.4.3 ประโยชน์ของ NMP ในอุตสาหกรรม

NMP ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น (1) อุตสาหกรรมปิโตรเลียมนำ NMP เป็นสารสกัดในกระบวนการกลั่นแยกไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์ ออกจากน้ำมันปิโตรเลียม (2) การนำไปผสมกับแอลกอฮอล์และน้ำเพื่อนำไปใช้ในการกำจัดแก๊สที่มีส่วนผสมของสารประกอบซัลเฟอร์ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และคาร์บอนออกซิซัลไฟด์ (3) อุตสาหกรรมพลาสติกจะใช้ NMP เป็นตัวทำละลายพอลิเมอร์ต่างๆ เช่น Polyamide, Polyesters หรือ Polyvimyl chloride เพื่อนำไปผลิตพลาสติก แวกซ์ เรซิน และสังกะสี (4) การผสมในสารเคลือบผิวจะช่วยทำให้ภาชนะหุงต้มมีความทนต่อการสึกกร่อนจากความร้อนและสารเคมีมากขึ้น (5) การทำความสะอาดและล้างสี โดยอาจจะใช้ NMP อย่างเดียวหรือใช้รวมกับสารขจัดคราบตัวอื่น (6) ผลิตภัณฑ์บำรุงรักษาพืชพันธุ์โดย NMP จะใช้เป็นตัวทำละลายหรือใช้รวมกับตัวทำละลายอื่นในยาฆ่าแมลง, ยากำจัดพืชจำพวกเห็ดรา, ยาฆ่าวัชพืช และผลิตภัณฑ์รักษาเมล็ดพันธุ์พืช และ(7) ใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับการล้างอุปกรณ์อิเล็คทรอนิก เป็นต้น (BASF, 1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การย่อยสลายทางชีวภาพของ NMP

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยจุลินทรีย์ประกอบด้วย ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ โครงสร้างของสาร ระยะเวลาการสัมผัส และปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม (ออกซิเจน, pH, อุณหภูมิ เป็นต้น) การทดสอบกระบวนการย่อยสลายโดยตรงจะเป็นการวัดคุณสมบัติเฉพาะของสารที่ถูกทำลายลง (แรงตึงผิวหรือการเกิดฟอง กรณีที่เป็นสารละลาย) เนื่องจากโครงสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยก็สามารถทดสอบด้วยกระบวนการทางเคมีได้ วิธีที่นิยมใช้ทั่วไปเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณเฉพาะสาร หรือวัดในรูปของ BOD, COD, TOC และ DOC

Chow และ Ng (1983) ทำการทดสอบการย่อยสลาย NMP โดยจุลินทรีย์ด้วยวิธี River-dies-away พบว่า 95% ของสารที่ถูกกำจัดออกเมื่อทำการวัดโดยวิธีวิเคราะห์เฉพาะสาร และ 45% ของสารที่ถูกกำจัดออกเมื่อวัดด้วยค่า COD โดยค่าประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าของค่า COD เมื่อเทียบกับการวิเคราะห์เฉพาะสาร ทำให้ทราบว่าโมเลกุลมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอย่างมาก (อาจเกิดการแตกพันธะ Nitrogen – carbonyl) และเกิดการเปลี่ยนรูปไปเป็นธาตุชนิดอื่นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นช่วงที่สารประกอบไม่อยู่ในรูป NMP มันอาจจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอื่นได้ ในทำนองเดียวกับการทดสอบของ Matsui และคณะ (1975) ใช้ระบบ semi – continuous และทำการวัดค่า TOC, COD และวิธีวิเคราะห์เฉพาะสาร (โดยเครื่อง GC) ของสารที่ถูกกำจัดออกไป โดยเริ่มต้นที่ความเข้มข้นของ NMP ในช่วง 92 – 200 ppm ผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า 92 % ของสารถูกกำจัดออกไปภายใน 24 ชั่วโมง

Gerike และ Fischer (1979) ทำการทดสอบการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วย NMP 44 ชนิด โดยใช้วิธีการทดสอบหลายๆ วิธี พบว่า NMP เกือบทั้งหมดสามารถถูกย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์

Test	DOC-Degradation (%)
Coupled-Units	99
OECD-Screening	99
Zahn-Wellens	98
Sturm	97
MITI	95

จากผลการทดลองทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่า การย่อยสลายทางชีวภาพของ NMP อย่างสมบูรณ์จะให้ผลที่สัมพันธ์กับค่า TOC (DOC) และ COD

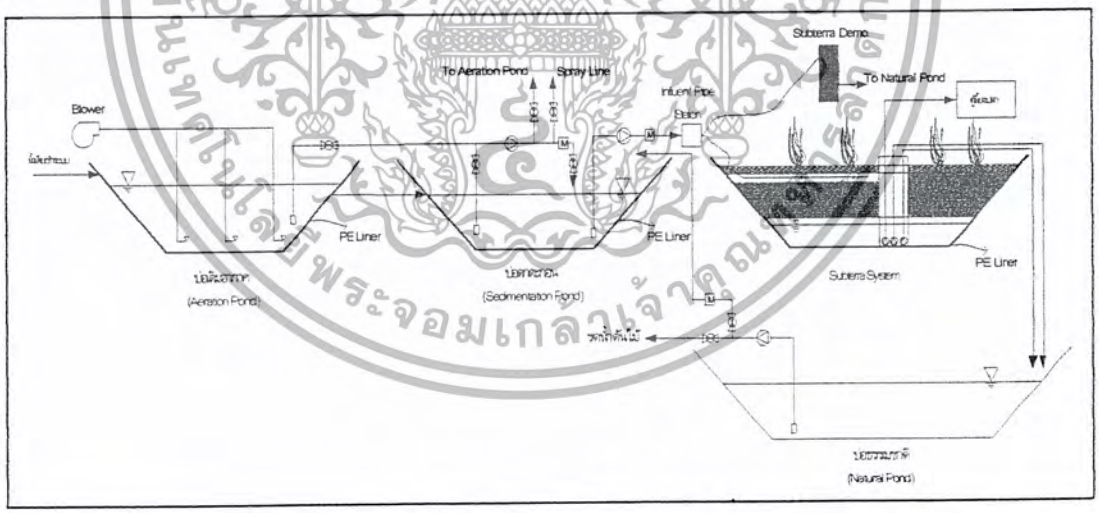
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ระบบ Suterra ของบริษัท

ระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท ออกแบบไว้ให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้ประมาณ 15 ลูก-บาศก์เมตรต่อวัน โดยเป็นการบำบัดโดยใช้ระบบบำบัดทางชีวภาพ และระบบธรรมชาติบำบัด โดยน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบน้ำเสียนั้นมาจากแหล่งต่างๆ หลายส่วนซึ่งสามารถ แบ่งได้ดังนี้

1. น้ำเสียจากการอุปโภค – บริโภคภายในบริษัท
2. น้ำเสียจากกระบวนการผลิตภายในบริษัท
3. น้ำเสียที่รับมาบำบัดจากภายนอกบริษัท
4. น้ำเสียปนเปื้อนสารเคมีจากระบบรองรับสารเคมีหกรั่วไหลภายในบริษัท

โดยน้ำเสียทั้งหมดจะถูกรวบรวมเข้าสู่ ระบบบำบัดน้ำเสียรวม ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลักๆ ได้แก่ บ่อเติมอากาศ บ่อตกตะกอน ระบบ Subterra และบ่อธรรมชาติ (Natural pond) ซึ่งรับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาเก็บกักไว้ สำหรับใช้ในกิจกรรมบางประเภท ภายในโรงงาน เช่น รดน้ำต้นไม้, ล้างรถขนส่ง, ล้างพื้นโรงงาน และมีแนวโน้มที่จะนำมาปรับปรุงคุณภาพเพื่อใช้งานในระบบหล่อเย็น สำหรับ Cooling Tower ด้วย โดยจะไม่มีการปล่อยออกสู่ภายนอกโรงงานเป็นอันขาด ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แผนภาพแสดงระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท

ถึงแม้ว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะไม่มีการปล่อยทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะก็ตาม แต่ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียนั้นจะควบคุมค่าของน้ำทิ้งให้ได้ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด ดังสรุปในภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 รายละเอียดระบบบำบัดน้ำเสีย

ในระบบบำบัดน้ำเสียรวม ประกอบด้วยส่วนหลักๆ 4 ส่วน คือ

1. บ่อเติมอากาศ (Aeration pond)
2. บ่อตกตะกอน (Sedimentation pond)
3. ระบบ Subterra (Subterra system)
4. บ่อธรรมชาติ (Natural pond)

1. บ่อเติมอากาศ (Aerated Pond)

บ่อเติมอากาศทำหน้าที่ย่อยสลายอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยอาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลาย ด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจนอิสระ ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดทางชีวภาพแบบแอโรบิก โดยออกซิเจนที่ได้มาจากการอัดอากาศลงไปในน้ำเสียโดยตรง (Diffused aeration) โดยใช้ เครื่องอัดอากาศ (Blower) และผ่านหัวกระจายอากาศ (Diffuser) ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเติมอากาศให้สูงขึ้น สารอินทรีย์ต่างๆที่อยู่ในน้ำเสีย เมื่อถูกย่อยแล้วส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนเป็น CO_2, NH_4^+, H_2O และเซลล์จุลินทรีย์ใหม่ และบางส่วนจะถูกเปลี่ยนสภาพไปสะสมอยู่ในเซลล์ของจุลินทรีย์เดิม ซึ่งกระบวนการดังกล่าว เป็นผลทำให้สารอินทรีย์และความสกปรกในน้ำเสียลดลง ดังปฏิกิริยา 2.1

$$\text{Organic} + O_2 \xrightarrow{\text{Organisms}} CO_2 + H_2O + \text{Other} + \text{New Cell} \quad \text{.....2.1}$$

รายละเอียดของบ่อเติมอากาศ

กว้าง	=	10.1	เมตร
ยาว	=	15.85	เมตร
ระดับน้ำ	=	2.10	เมตร
ระยะเผื่อล้น	=	1.1	เมตร
ความชัน	=	1:0.56	
พื้นที่ผิว	=	130	ตารางเมตร
ปริมาตร	=	218	ลูกบาศก์เมตร

การทำงานของระบบเติมอากาศ ในระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทอยู่ในรูปแบบของสระเติมอากาศ (Aerated lagoon) ทั้งนี้พิจารณาจากภาพรวมของกระบวนการในการบำบัดทั้งหมดรวมทั้งภาระบรรทุกสารเคมีที่เกิดขึ้น อีกทั้งระบบสระเติมอากาศยังมีตะกอนส่วนเกินน้อย ซึ่งไม่ก่อให้เกิดปัญหาความยุ่งยาก ในการกำจัดตะกอนดังกล่าว นอกจากนี้แล้วระบบยังสามารถรองรับสภาวะ Shock Load ได้ค่อนข้างดี ดังแสดงในภาพที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.10 บ่อเติมอากาศ (Aeration pond)

2. บ่อตกตะกอน (Sedimentation Pond)

บ่อตกตะกอนทำหน้าที่ตกตะกอนจุลินทรีย์ ที่เกิดจากบ่อเติมอากาศ เนื่องจากถ้าไม่มีการแยกตะกอนออก จะส่งผลกระทบทำให้ท่อภายในระบบ Subterra อุดตัน สำหรับตะกอนที่ก้นบ่อก็จะมีการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก ส่วนที่เป็นน้ำใสก็จะถูกสูบต่อไปยังระบบ Subterra เพื่อปรับปรุงให้คุณภาพน้ำเสียดียิ่งขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.11

รายละเอียดของบ่อตกตะกอน

กว้าง	=	10.1	เมตร
ยาว	=	18.8	เมตร
ระดับน้ำ	=	1.8	เมตร
ระยะเผื่อล้น	=	1.2	เมตร
ความชัน	=	1:0.56	
พื้นที่ผิว	=	153	ตารางเมตร
ปริมาตร	=	230	ลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.11 บ่อตกตะกอน (Sedimentation pond)

นอกจากนี้แล้วภายในบ่อตกตะกอนยัง ได้ทำการติดตั้งเครื่องสูบน้ำไว้ 1 ชุด ซึ่งทำหน้าที่หลายอย่างด้วยกัน คือ

1.) สูบน้ำจากบ่อเติมอากาศมายังบ่อตกตะกอน วัตถุประสงค์เพื่อสูบน้ำเสียเข้าสู่กระบวนการ ของการบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนต่อไป

2.) สูบน้ำจากบ่อตกตะกอนกลับไปยังบ่อเติมอากาศ วัตถุประสงค์เพื่อสูบน้ำเสียกลับเข้าไปบำบัดใหม่ กรณีมีความผิดพลาดในการเดินระบบ

3.) สเปรย์น้ำภายในบ่อตกตะกอน วัตถุประสงค์เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจน ละลายน้ำในบ่อตกตะกอนให้สูงขึ้น

3. ระบบ (Subterra System)

ระบบ Subterra เป็นระบบในรูปแบบเดียวกันกับ ระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) แบบ Subsurface Flow โดยอาศัยกลไกการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้พืชและชั้นทราย นอกจากนี้แล้วปริมาณสารอาหาร (N, P) ในน้ำเสียก็จะถูกกำจัดไปด้วยเมื่อผ่านระบบนี้ ซึ่งจะสร้างความมั่นใจได้ว่า แหล่งรองรับน้ำทิ้ง จะไม่เกิดสาหร่าย และพืชน้ำในปริมาณที่มากเกินไป หรือที่เรียกกันว่า "Algae Boom" การทำงานของระบบ Subterra จะเริ่มจากทำการสูบน้ำใสจากบ่อตกตะกอน ผ่านระบบท่อ (EPDM) กระจายน้ำ ซึ่งกระจายตัวอยู่โดยรอบพื้นที่ผิวชั้นบนใต้ชั้นหิน จากนั้นน้ำเสียดังกล่าวก็จะซึมจากด้านบนผ่านชั้นหิน ชั้นทราย และรากของพืช จนถึงระบบรวบรวมน้ำเสียที่อยู่ด้านล่าง รวบรวมน้ำเสียเข้าสู่บ่อพักน้ำทิ้ง และสูบต่อไปยังบ่อธรรมชาติ (Natural pond) โดยข้อแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

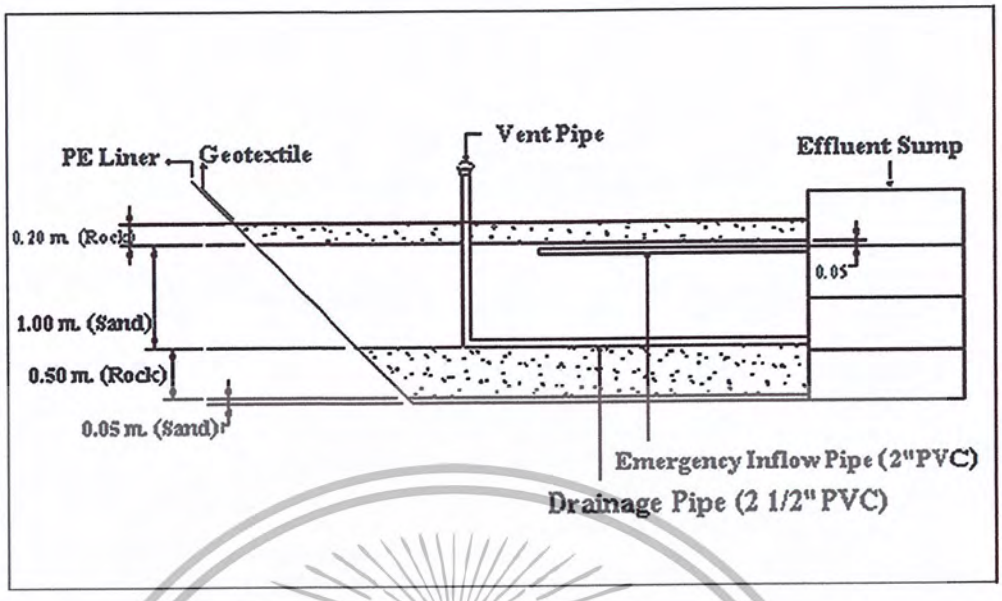
ระหว่าง ระบบ Subterra กับระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) แบบ Subsurface Flow โดยทั่วไปนั้น อยู่ตรงที่การจ่ายน้ำเข้าระบบโดยระบบท่อกระจายน้ำของระบบ Subterra นั้นจะเป็นท่อพลาสติกที่มีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งจะเจาะรูไว้ทั่วทั้งเส้น (ระยะระหว่างรูที่เจาะประมาณ 30 เซนติเมตร) คือ เมื่อมีการสูบน้ำเข้าระบบ ท่อดังกล่าวจะขยายตัวทำให้รูที่เจาะไว้เปิดออก และน้ำเสียก็จะผ่านเข้าสู่ระบบ ในลักษณะฉีดเป็นฝอย และเมื่อไม่มีการสูบน้ำเข้าระบบ ท่อก็จะกลับเข้าสู่สภาพเดิม ซึ่งลักษณะนี้จะเป็นการลดปัญหาการอุดตัน ภายในเส้นท่อได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในภาพที่ 2.12 และ 2.13

รายละเอียดของระบบ Subterra

กว้าง	=	18	เมตร
ยาว	=	25	เมตร
ระยะขอบ	=	1.45	เมตร
ความชัน	=	2 : 1	
พื้นที่ผิว	=	600	ตารางเมตร
ปริมาตร	=	200	ลูกบาศก์เมตร
พลังงาน	=	3.2	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน
อัตราปล่อยน้ำ	=	32	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

ภาพที่ 2.12 ระบบ Subterra ของบริษัท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.13 ภาพตัดขวางของระบบ Subterra

4. บ่อธรรมชาติ (Natural Pond)

บ่อธรรมชาติเป็นบ่อที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบ Subterra โดยน้ำในบ่อธรรมชาตินี้ส่วนหนึ่งจะนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ภายในโรงงาน เช่น นำไปรดน้ำต้นไม้, ล้างพื้นอาคาร และมีแนวโน้มที่จะนำน้ำในส่วนนี้ไปปรับปรุงคุณภาพเพื่อใช้ในระบบหล่อเย็นด้วย ดังแสดงในภาพที่ 2.14 รายละเอียดของบ่อธรรมชาติ มีดังนี้ ความกว้าง = 30 เมตร

ความยาว = 80 เมตร

ความลึก = 3.60 เมตร

ภาพที่ 2.14 บ่อธรรมชาติ (Natural pond)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 แบบจำลองระบบ Subterra (Demo System)

แบบจำลองระบบ Subterra เป็นโมเดลที่สร้างขึ้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงลักษณะการเรียงตัวของชั้นหินและทราย รวมถึงการกระจายตัวของรากพืชในชั้นทรายด้วย ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Demo system ดังแสดงในภาพที่ 2.15 ขนาดความสูงของระบบ Demo เท่ากับระบบ Subterra ที่ใช้จริงอัตราส่วนของพื้นที่ผิวเมื่อเทียบกับระบบจริงเป็น 298.5 : 1 เส้นผ่านศูนย์กลาง 61.5 เซนติเมตร และมีค่าภาระการรองรับน้ำต่อหน่วยพื้นที่ : HLR ($m^3/m^2.d$) เท่ากับระบบ Subterra โดยพิจารณาจากขนาดของพื้นที่ผิวต่อระยะห่างของรูที่เจาะในสายยาง น้ำทิ้งที่เข้าระบบ Demo เป็นน้ำทิ้งที่สูบมาจากบ่อตกตะกอนเช่นกันเดียวกับน้ำที่ถูกส่งไปยังระบบ Subterra

ภาพที่ 2.15 แบบจำลองระบบ Subterra (Demo system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- Weinhart และคณะ (2003) ศึกษาถึงระบบบำบัดน้ำเสียแบบผสมกันของบ่อบำบัดและแบบบึงประดิษฐ์ เพื่อให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยระบบแบบบ่อบำบัดเพียงระบบเดียวนั้นจะมีวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดชุมชน และมีราคาที่ถูกในการก่อสร้างซึ่งจะเป็นข้อได้เปรียบกว่าระบบอื่นๆ แต่จะมีข้อเสียในเรื่องของปริมาณสาหร่ายที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดมลพิษ จึงมีการประยุกต์ให้เป็นระบบแบบผสมผสานกัน ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เวลา 3 ปี โดยกั้นระบบทั้ง 2 ออกจากกันแต่อยู่ในบ่อเดียวกัน ซึ่งผลที่ได้แสดงถึงการลดลงของปริมาณสาหร่ายในน้ำที่ออกจากระบบ ปริมาณ BOD ที่ลดลงได้ถึง 64.7% โดยแบ่งออกเป็นแบบบ่อบำบัด (44.1%) และแบบบึงประดิษฐ์ (36.8%) ปริมาณไนโตรเจนสามารถกำจัดออกไปได้ 51.1% (บ่อบำบัด 38.3%, บึงประดิษฐ์ 20.8%) รวมถึงค่าพีเอชที่ลดต่ำลงกว่า 8.5 และระบบยังสามารถรองรับอัตราการไหลของน้ำที่มากเกิน (เช่น ฝนตกหนัก)ได้อีกด้วย

- Kantawanichkul และคณะ (1999) ศึกษาถึงการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชเขตร้อนในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวดิ่ง โดยการจำลองระบบด้วยการสร้างถังอะคริลิค(acrylic) เป็นแบบจำลอง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียแบบน้ำไหลในแนวดิ่ง โดยศึกษาเปรียบเทียบชนิดของพืชที่ปกคลุมอยู่ผิวหน้าดินระหว่างหญ้าแฝกพันธุ์ *Vertiveria zizanioides* กับต้นกกพันธุ์ *Cyperus flaelliformis* ซึ่งหญ้าท้องถิ่นในประเทศไทย น้ำที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นน้ำเจือจางที่ได้มาจากฟาร์มเลี้ยงสุกร โดยจะให้เข้าระบบเป็นระยะๆ ผลที่ได้ออกมานั้นพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดซึ่งแสดงผลออกมาในรูปของสารอินทรีย์คาร์บอน, ไนโตรเจน และของแข็งแขวนลอยของทั้งสองระบบเป็นที่น่าพอใจ โดยมีประสิทธิภาพในลดค่า CODได้ถึง 90% และลดปริมาณไนโตรเจนได้ 88% ภายใต้ปริมาณการรองรับน้ำ (Hydraulic Loading Rate) และปริมาณการรองรับสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) ต่อพื้นที่เป็น 36 m^3/m^2.day และ 55 kg COD/ha.d ตามลำดับ

- Maehlum และ Stanlanacke (1999) ศึกษาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์(CWs)แบบ Three cold-climate ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน โดยศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิ ฤดูกาล อัตราการปล่อยน้ำเข้า และ ความเข้มข้นของน้ำที่ใส่เข้าไป โดยหัวข้อที่ทำการพิจารณาเป็นพิเศษ ได้แก่ (1) การปรับสภาพน้ำด้วยการเติมอากาศก่อนเข้าสู่ตัวกลางที่ไหลในแนวดิ่ง (2) ตัวกลางที่ใช้เป็นสารตัวกรองสามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้สูง และ (3) ประสิทธิภาพการบำบัดในช่วงฤดูหนาว โดยระบบเติมอากาศจะอยู่ก่อนบึงประดิษฐ์ ซึ่งภายในประกอบด้วยตัวกลางการดูดซับฟอสฟอรัสที่สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ (BOD>75%) ฟอสฟอรัส (>90%) และไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) และแอมโมเนียไนโตรเจน(40 - 80%) สารที่ใช้ในการดูดซับคือ ทรายที่มีธาตุเหล็กอยู่สูง (Iron-rich sand) จะมีประสิทธิภาพมากในการดูดซับฟอสฟอรัส แต่จะมีผลกระทบทำให้ประสิทธิภาพการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำจัดของค่า COD , TOC และ SS ลดลง อีกปัจจัยคือ อุณหภูมิในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดต่ำลงประมาณ 10% ของทุกตัวแปร

- Cameron และคณะ (2003) ศึกษาถึงกระบวนการกำจัดมลพิษจากน้ำเสียชุมชนด้วยระบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1. ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือผิวหน้าดิน 2. ตัวกรองโลหะที่ทำหน้าที่ดูดซับฟอสฟอรัส 3. แผ่นกรองธรรมชาติ พบว่ากระบวนการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์นั้นสามารถลดมลพิษได้เป็นที่น่าพอใจ โดยสามารถลดปริมาณ BOD (34%), NH^{+}_{4} และNH_3 (52%), TKN (37%), TSS (93%), TP (90%), ortho-PO_4 (82%), FCs (52%) และ *Escherichia coli* (58%) นอกจากนี้ระบบบึงประดิษฐ์ยังสามารถลดปริมาณไนโตรเจนได้ ซึ่งปริมาณ TP และ BOD ของน้ำที่ผ่านระบบนั้นมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ จากนั้นเมื่อน้ำผ่านแผ่นกรองธรรมชาติจะทำหน้าที่ต่อจากระบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งช่วยลดค่าปริมาณต่างๆ ได้อีก โดยสามารถลดปริมาณ BOD (18%), NH^{+}_{4} และNH_3 (28%), TKN (11%), TSS (22%), TP (5%), FCs (28%) และ *Escherichia coli* (22%) ส่วนสุดท้ายคือแผ่นกรองโลหะ ซึ่งแผ่นกรองโลหะสามารถลดปริมาณ TP ในบ่อบำบัดได้มากกว่า 90%

- von Gunten และ Zobrist (1993) ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี ในระบบการซึมผ่านของน้ำบนดินที่ศึกษาจากคอลัมน์ที่สร้างขึ้น โดยใช้สารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย ปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนแรกนั้น เป็นการทำงานของจุลินทรีย์ที่สามารถลดปริมาณของไนเตรตและซัลเฟตจากปฏิกิริยาจลนศาสตร์แบบ first-order ด้วยอัตราคงที่ $(2.7 \pm 0.2)\times10^{-1}min^{-1}$ และ $(2.3 \pm 0.3)\times10^{-2}min^{-1}$ ส่วนการละลายของ Mn (II) และFe (II) จะเกิดปฏิกิริยาจลน์ศาสตร์แบบ zero-order

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. กรดบอริก เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ J.T. Baker
4. โซเดียมไทโอซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
5. โพแทสเซียมไดโครเมต เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
6. เมอคูรีไอโอไดด์ เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
7. โพแทสเซียมซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ J.T.Baker
8. แอมโมเนียคลอไรด์ เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
9. ปรอทออกไซด์ เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ J.T.Baker
10. แอนไฮดรัสโพแทสเซียมไนเทรต เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ BDH Laboratory
11. โซเดียมอาร์เซไนต์ เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
12. บลูซีนซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
13. กรดซัลฟานิลิก เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องสเปกโทรโฟโตรมิเตอร์ รุ่น 6405 UV/Vis Spectrophotometer ยี่ห้อ JENWAY
2. เครื่องวัดดีโอแบบเมมเบรนอิเลคโทรด
3. ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์ซีโอดี
4. ขวดเคลดาลห์ และอุปกรณ์ในการกลั่น ยี่ห้อ Gerhardt
5. เครื่องอังน้ำ (water bath) ยี่ห้อ Fisher Scientific
6. หลอดทดลองขนาด 50 มล. หรือเนสเลอร์ ยี่ห้อ Pyrex USA.
7. ขวดบีโอดีพร้อมจุก ขนาดมาตรฐาน 300 มล. ยี่ห้อ WHEATON
8. แท่งแก้วสำหรับการเขือจางน้ำตัวอย่าง (plunger type mixed rod)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

น้ำเสียที่ถูกนำมาบำบัดด้วยระบบ Subterra เป็นน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการเติมอากาศ (Aeration pond) เติมกรด-ด่าง เพื่อให้พีเอชอยู่ในช่วงระหว่าง 5 - 6 และปล่อยให้ตกตะกอนในบ่อตกตะกอน (Sedimentation pond) ดังแสดงในภาพที่ 2.10 โดยน้ำเสียดังกล่าว ถูกรวบรวมมาจากแหล่งที่มาต่างๆ กัน ได้แก่

- น้ำเสียจากการอุปโภคบริโภค : สำนักงาน โรงอาหาร ห้องปฏิบัติการของบริษัท
- น้ำเสียจากกระบวนการผลิต
- น้ำเสียที่รับมาบำบัด
- น้ำเสียปนเปื้อนสารเคมีจากระบบรองรับสารเคมีหกรั่วไหล

3.4 การเริ่มเดินระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท

ขั้นตอนในการเริ่มเดินระบบมีดังนี้

1. เติมน้ำเสียในบ่อเติมอากาศครึ่งบ่อและทดสอบเดินระบบ เพื่อตรวจสอบความเรียบร้อยของเครื่องเติมอากาศ
2. เติม Seed 5 – 20 % ของความจุน้ำของบ่อเติมอากาศ
3. เดินระบบเติมอากาศ โดยยังไม่เติมน้ำเสียใหม่เข้าระบบ เป็นระยะเวลา 2 วัน
4. หยุดเดินระบบเติมอากาศ เพื่อทำการตกตะกอนจุลินทรีย์
5. สูบส่วนที่เป็นน้ำใส ไปยังบ่อเติมอากาศ โดยในขั้นนี้ให้ทำการตรวจเช็ค คุณภาพของน้ำเสีย ในส่วนของค่า COD เพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบ
6. เริ่มสูบน้ำเสียเข้าระบบ โดยสูบน้ำเข้าระบบในอัตราประมาณ 10 % กับค่าที่ออกแบบไว้ในขั้นต้น จนกระทั่งถึงค่าที่ออกแบบไว้
7. เริ่มเดินระบบอย่างต่อเนื่อง (Continuous system) หรือเดินระบบแบบครั้งคราว (Batch System)

3.5 การดำเนินการทดลอง

3.5.1 การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสีย

เก็บตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อน NMP จากบ่อตกตะกอนซึ่งเป็นน้ำเสียก่อนเข้าระบบ Subterra (Influent) ทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีตาม Standard Method (APHA, 1998) ด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ คือ อุณหภูมิ, pH, ค่า DO, ค่า BOD_5, ค่า COD และปริมาณไนเทรตในรูปต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การศึกษาค่าภาระการรองรับน้ำที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

1. ทำการฉีดน้ำเสียจากบ่อตกตะกอนเข้าสู่ระบบ Subterra ด้วยค่าภาระการรองรับน้ำ 0.085 m^3/m^2.day ทิ้งระยะการกักเก็บน้ำไว้ 7 วัน โดยควบคุมค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ที่ไม่มากกว่า 5,000 mg BOD/ m^2.day

2. เก็บตัวอย่างน้ำในจุดรวมน้ำที่ออกจากระบบ (Effluent) เพื่อนำไปวิเคราะห์

3. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนค่าภาระการรองรับน้ำเป็น 0.113, 0.141 และ0.169 m^3/m^2.day ตามลำดับ เพื่อศึกษาปริมาณน้ำที่ระบบสามารถบำบัดได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

3.5.3 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยแบบจำลองบึงประดิษฐ์ (Demo system)

1. เตรียมแบบจำลองระบบ Subterra หรือระบบ Demo ที่มีขนาดพื้นที่ผิว 1.187 m^2 ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วน 298.5 : 1 เมื่อเทียบกับระบบจริง

2. ทำการปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบ Demo ด้วยค่าภาระการรองรับน้ำ 0.085 m^3/m^2.day ทิ้งไว้ 7 วัน โดยควบคุมค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ที่ไม่มากกว่า 5,000 mg BOD/m^2.day เช่นเดียวกับการศึกษาในข้อ 3.4.2

3. เก็บรวบรวมน้ำที่จุดรวมน้ำที่ออกจากระบบเพื่อนำไปวิเคราะห์

4. ทำการทดลองซ้ำโดยแปรค่าภาระการรองรับน้ำเข้าระบบ Demo เป็น 0.113, 0.141 และ 0.169 m^3/m^2.day ตามลำดับ เพื่อศึกษาความสามารถของระบบ Demo ในการบำบัดน้ำเสียที่ได้เทียบกับระบบจริง

3.5.4 เพื่อศึกษาความทนทานและการเจริญเติบโตของต้นธรรมรักษาภายในระบบบำบัดน้ำเสียโดยแบบจำลองบึงประดิษฐ์ (Demo system)

1. ทำการปลูกต้นธรรมรักษาลงในระบบ Demo โดยทิ้งระยะการเจริญเติบโตของราก 2 เดือน

2. ปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบ Demo ด้วยค่าภาระการรองรับน้ำ เช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 3.5.2

3. ศึกษาความสามารถในการเจริญเติบโตของต้นธรรมรักษา โดยการวัดความสูงและการแตกหน่อของต้นพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาของโครงงานนี้แบ่งออกเป็น 2 ปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปัจจัยที่ศึกษา

สภาวะที่ใช้บำบัด	หน่วย	การแปรค่า
ภาระการรองรับน้ำที่เข้าระบบ (HLR)	$m^3/m^2.day$	0.085, 0.113, 0.141 และ 0.169
พืช	พันธุ์	ต้นธรรมรักษา

3.6 วิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย ดำเนินการตาม Standard Method (APHA, 1998) ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
1. ค่า COD	Closed Reflux Method
2. ค่า BOD_5	การหาค่าบีโอดีด้วยวิธีธรรมดา
3. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	DO Meter
4. ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด	วิธีการกรอง
5. ปริมาณ ไนโตรเจน	
- Ammonia-N	วิธีการกลั่น
- TKN	Total Kjeldahl Nitrogen
- Nitrite	Colorimetric Method
- Nitrate	Brucine Method
6. อุณหภูมิ	Thermometer
7. ค่าพีเอช	pH Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสีย

น้ำเสียที่จะนำมาบำบัดด้วยระบบ Subterra ได้มาจากบ่อตกตะกอน ซึ่งรับมาจากบ่อเติมอากาศ จากการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพพบว่า น้ำเสียหลังจากผ่านการตกตะกอนในบ่อตกตะกอน มีปริมาณตะกอนค่อนข้างต่ำ สีเขียวใส มีกลิ่นเหม็น อุณหภูมิของน้ำอยู่ระหว่าง 26-28 องศาเซลเซียส ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของน้ำเสียจากบ่อตกตะกอน พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำเสียอยู่ระหว่าง 7-10 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่า 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีโอดีและซีโอดี ซึ่งเป็นดัชนีแสดงปริมาณสารอินทรีย์ รวมถึงค่าความสกปรกในน้ำเสียมีค่าสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ สำหรับปริมาณเจลดาลห์ไนโตรเจนและปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ พบว่า ปริมาณเจลดาลห์ไนโตรเจนมีค่าที่สูงกว่าไนโตรเจนในรูปอื่นๆ มาก แสดงให้เห็นว่า มีไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์เป็นจำนวนมาก เช่น สาร NMP ซึ่งมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ Subterra เนื่องจากเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อพืชและจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในระบบ

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ Subterra

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่วัดได้	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม*
PH		7.14-9.88	8.34	0.045	5.5-9.0
DO	(mg/l)	0.21-0.45	0.26	0.102	-
BOD	(mg/l)	104.0-139.4	121	0.069	ไม่เกิน 20
COD	(mg/l)	156.7-231.0	187	0.054	ไม่เกิน 120
TKN	(mg/l)	32.2-38.5	35.6	0.101	ไม่เกิน 100
Ammonia-N	(mg/l)	2.11-2.87	2.48	0.089	ไม่เกิน 50
Nitrite-N	(mg/l)	0.66-1.25	0.88	0.065	ไม่เกิน 1 **
Nitrate-N	(mg/l)	1.09-2.34	1.76	0.022	ไม่เกิน 10 **

แหล่งที่มา : *ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (2539).

** New York State Department of Health. 2001

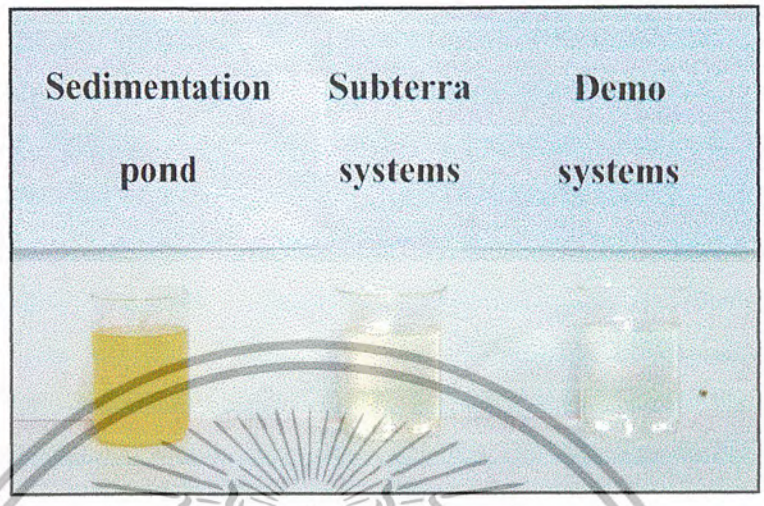
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาและคำนวณค่าทางสถิติ พบว่าน้ำจากบ่อตกตะกอนในแต่ละวันที่เก็บตัวอย่างมีปริมาณสารอินทรีย์และปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดังแสดงในตารางที่ ข-12) ดังนั้นโครงงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของระบบ Subterra และระบบ Demo โดยใช้น้ำที่ออกจากบ่อตกตะกอน (Sediment) เป็นตัวแทนน้ำเสียก่อนเข้าระบบ Subterra และระบบ Demo โดยเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละวันจากบ่อตกตะกอน ระบบ Subterra และระบบ Demo เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โดยไม่คำนึงถึงค่า HLR เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำก่อนเข้าระบบไม่มีความแตกต่างกัน

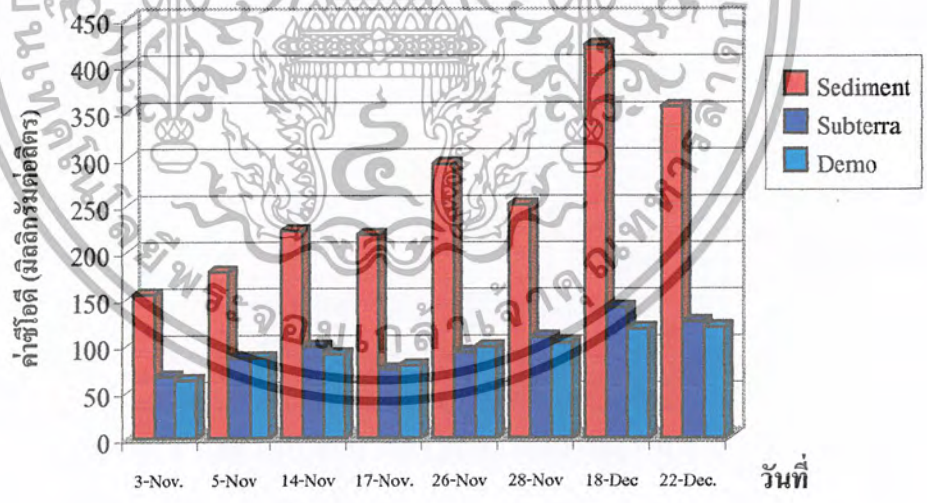
4.2 การศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบ Subterra และแบบจำลองระบบ Subterra

จากการทดสอบพบว่า น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ Subterra และแบบจำลองระบบ Subterra (ระบบ Demo) มีคุณภาพน้ำที่ดีขึ้นทั้งทางกายภาพและเคมี โดยลักษณะทางกายภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีปริมาณตะกอนแขวนลอยต่ำ ใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ส่วนลักษณะทางเคมีนั้น พบว่าระบบสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในรูป COD และ BOD ได้ ดังภาพที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของระบบ Subterra อยู่ระหว่าง 56-67% และระบบ Demo อยู่ระหว่าง 54-69% ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดี ในระบบ Subterra อยู่ระหว่าง 88-90% และระบบ Demo อยู่ระหว่าง 85-89% การลดปริมาณสารอินทรีย์ในระบบอาจเกิดจากกลไกการย่อยสลายแบบ Biotic และ Abiotic ซึ่งได้แก่ การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) โดยจุลินทรีย์ที่สร้างฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) บนผิวของเม็ดดิน, การตกตะกอน (Sedimentation) และการดูดซับ (Adsorption) โดยอนุภาคของดินและรากพืช (Gerald, 2000) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยของ Kantawanichkul และคณะ (1999) ซึ่งได้ศึกษาถึงการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชเขตร้อนในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวดิ่งที่สามารถลดค่าซีโอดีได้ถึง 90% และการศึกษาของ Maehlum และ Stanlanacke (1999) ที่สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของค่าบีโอดี ได้มากกว่า 75% ภายในระบบบึงประดิษฐ์ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

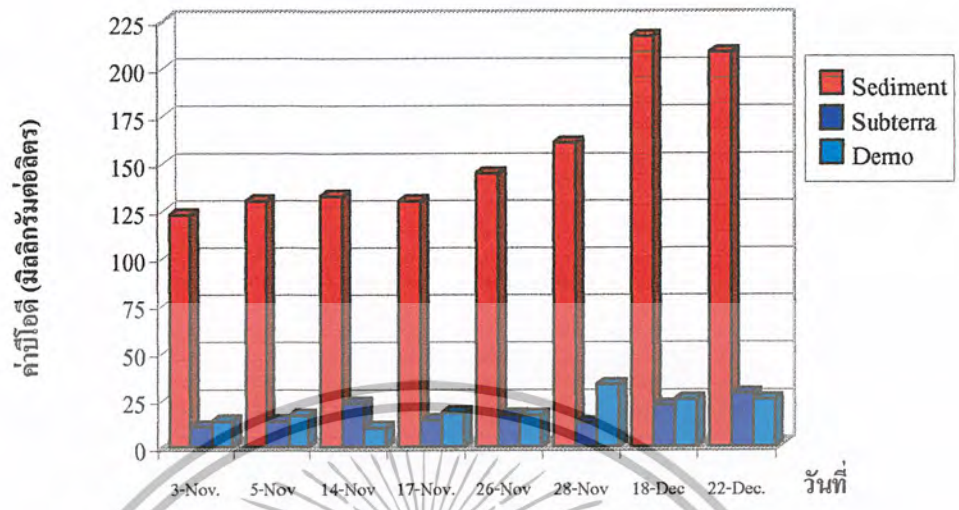


ภาพที่ 4.1 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียจากบ่อตกตะกอน, ระบบ Subterra และระบบ Demo



ภาพที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่า COD ของน้ำจากบ่อตกตะกอน, ระบบ Subterra และระบบ Demo

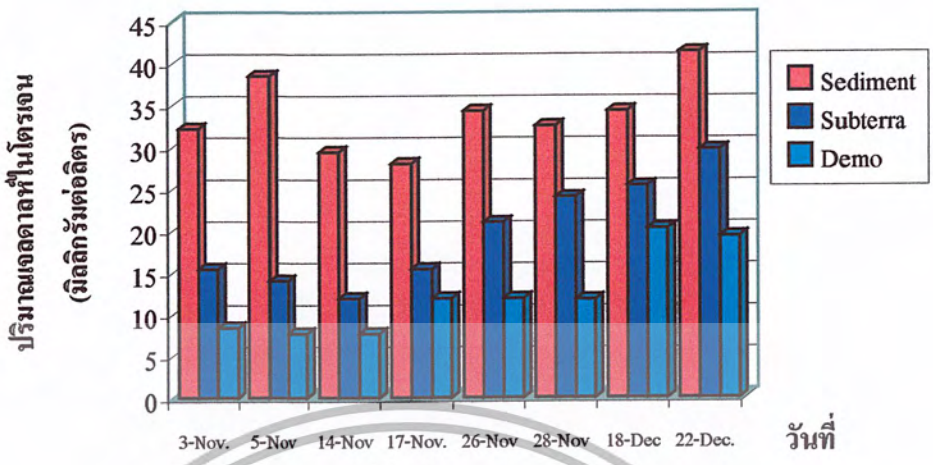
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



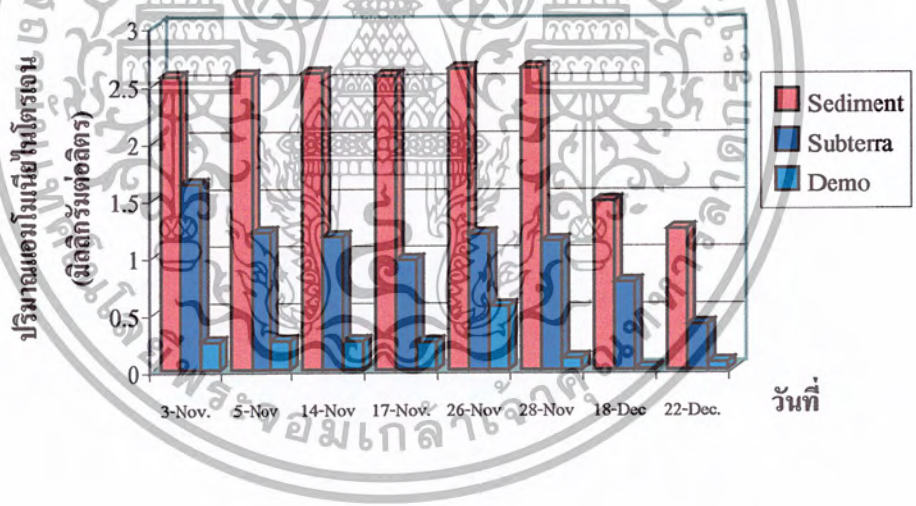
ภาพที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่า BOD ของน้ำจากบ่อตกตะกอน, ระบบ Subterra และระบบ Demo

นอกจากนี้ยังพบว่าระบบ Subterra และระบบ Demo สามารถลดปริมาณไนโตรเจนได้ โดยปริมาณเจลดาลห์ไนโตรเจน (TKN) ในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ Subterra และระบบ Demo ลดลงได้ถึง 45% และ 63% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.4 ซึ่งค่า TKN มีปริมาณที่ลดลงเช่นเดียวกับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) โดยน้ำที่เข้าระบบ Subterra มีค่าลดลงจาก 2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 1.03 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด 57% และน้ำที่เข้าสู่ระบบ Demo มีค่าลดลงจาก 2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 0.21 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด 91% ดังแสดงในภาพที่ 4.5 อย่างไรก็ตามน้ำเสียที่ผ่านเข้าระบบ Subterra และระบบ Demo นั้นกลับมีปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจน (NO_3^--N) เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.6 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ไนเทรต-ไนโตรเจนที่เพิ่มสูงขึ้นนั้นเป็นการแปรเปลี่ยนรูปของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระบวนการ Nitrification ซึ่งเป็นกระบวนการทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในระบบจะทำการแปรเปลี่ยนรูปแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไปเป็นไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเทรต-ไนโตรเจน ตามลำดับ โดยใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ออกซิเจนที่ได้จากการสเปรย์น้ำเข้าระบบ และออกซิเจนที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างดินในการย่อยสลาย (Gerald, 2000) จึงเป็นผลทำให้ไนโตรเจนส่วนใหญ่จะคงอยู่ในรูปของไนเทรต-ไนโตรเจนเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบ Subterra และระบบ Demo แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

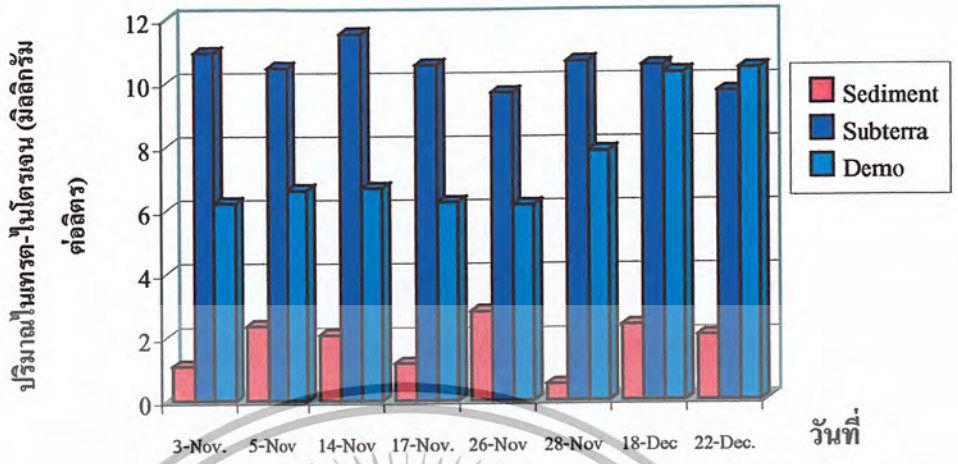


ภาพที่ 4.4 การเปรียบเทียบปริมาณเจลดาลห์ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ของน้ำจากบ่อตกตะกอน, ระบบ Subterra และระบบ Demo



ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของน้ำจากบ่อตกตะกอน, ระบบ Subterra และระบบ Demo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจนของน้ำจากบ่อตกตะกอน, ระบบ Subterra และระบบ Demo

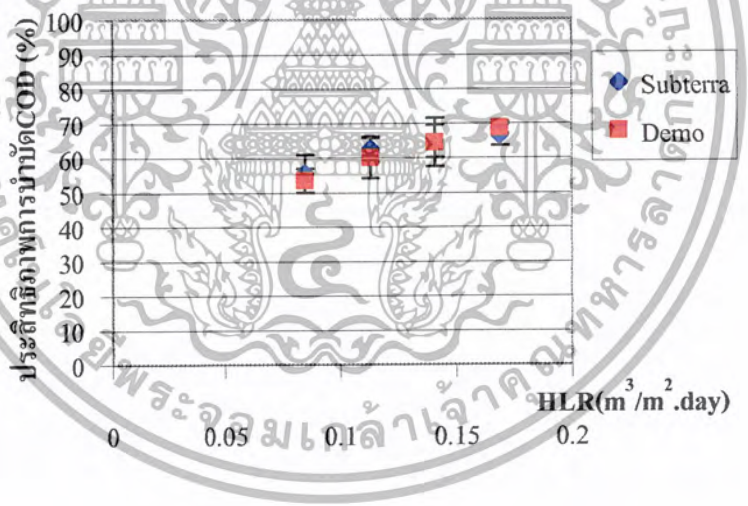
4.3 ผลของค่าภาระการรองรับน้ำ (HLR) ต่อการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจน

ค่าภาระการรองรับน้ำ (HLR) เป็นปริมาตรของน้ำเสียที่ปล่อยเข้าสู่ระบบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวต่อวัน มีหน่วยเป็น m^3/m^2.day หรือ mm/day ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพภูมิอากาศ ลักษณะของดิน (เช่น ความพรุน) และชนิดของพืช เป็นต้น นอกจากนี้ค่า HLR ยังมีความสัมพันธ์กับค่าระยะเวลาการกักเก็บน้ำ (Hydraulic Retention Time, HRT) ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียด้วย เมื่อค่า HLR มีค่าน้อยลงจะทำให้ HRT มีค่ามากขึ้น ทำให้ระยะเวลาในการกักเก็บนานขึ้นเกิดสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic conditions) ในทางกลับกันถ้าค่า HLR มากขึ้น จะทำให้ค่า HRT มีค่าน้อยลง ทำให้ระยะเวลาไม่เพียงพอสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นนี้จะต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ควบคู่ไปด้วย เช่น ลักษณะภูมิประเทศ, การปลูกพืช และอัตราการคายน้ำ (Evapotranspiration) เป็นต้น (Lim และ Polprasert, 1998)

จากการทดสอบผลของค่าภาระการรองรับน้ำต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยระบบ Subterra และระบบ Demo นั้น ได้มีการแปรค่าภาระการรองรับน้ำเป็น 0.085, 0.113, 0.141 และ 0.169 m^3/m^2.day โดยทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ดังนี้ คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ลดลงโดยใช้ค่าซีโอดีและค่าบีโอดี ปริมาณไนโตรเจนที่วัดในรูปของค่าเจลดาลห์-ไนโตรเจน และ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดที่วัดด้วยค่าซีโอดี มีประสิทธิภาพดีขึ้นตามค่าภาระการรองรับน้ำที่เพิ่มขึ้นทั้ง 2 ระบบ โดยประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ Subterra มีค่าเป็น

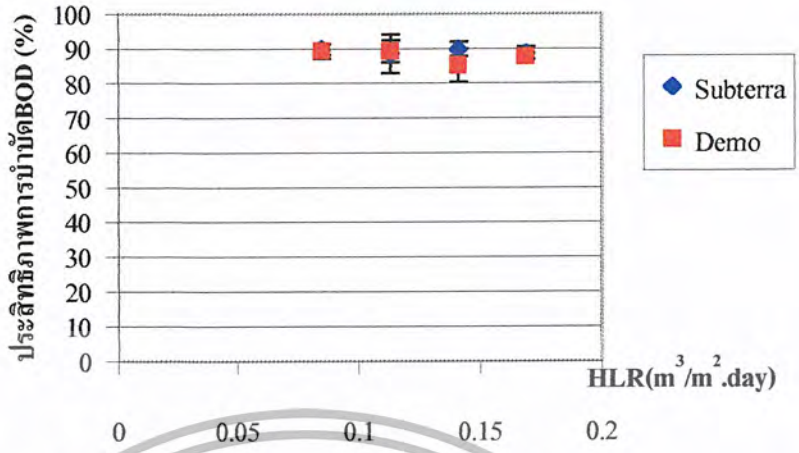
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55.3%, 62.6%, 65.5% และ 66.8% ระบบ Demo มีค่าเป็น 53.6%, 60.2%, 65.0% และ 69.0% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.7 ส่วนค่าบีโอดี หลังจากผ่านการบำบัดได้ ประสิทธิภาพที่ค่อนข้างคงที่เมื่อเพิ่มค่าภาระการรองรับน้ำขึ้น โดยประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดีของระบบ Subterra มีค่าเป็น 87.8%, 88.5%, 89.8% และ 88.6% ส่วนระบบ Demo มีค่าเป็น 81.0%, 89.3%, 85.0% และ 87.7% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยค่าซีโอดีและค่าบีโอดีกับการเพิ่มค่าภาระการรองรับน้ำนั้นไม่เป็นไปตามที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นตามค่าภาระการรองรับน้ำที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองไม่ได้ทำการควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ (OLR) ที่เข้าไปในระบบ ทำให้มีค่า OLR เพิ่มขึ้น ตามค่าภาระการรองรับน้ำ ซึ่งอยู่ในช่วงความสามารถในการบำบัดของระบบ Subterra และระบบ Demo ทำให้ระบบยังคงสามารถลดสารอินทรีย์ได้เพิ่มมากขึ้น รวมถึงกลไกการบำบัดสารอินทรีย์ทางกายภาพ เช่น การตกตะกอน การระเหย การสังเคราะห์แสง และการดูดซับ ซึ่งกลไกเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ จึงทำให้ผลการทดลองที่ได้ไม่สอดคล้องกับหลักการข้างต้น



ภาพที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าภาระการรองรับน้ำกับประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีของระบบ Subterra และระบบ Demo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

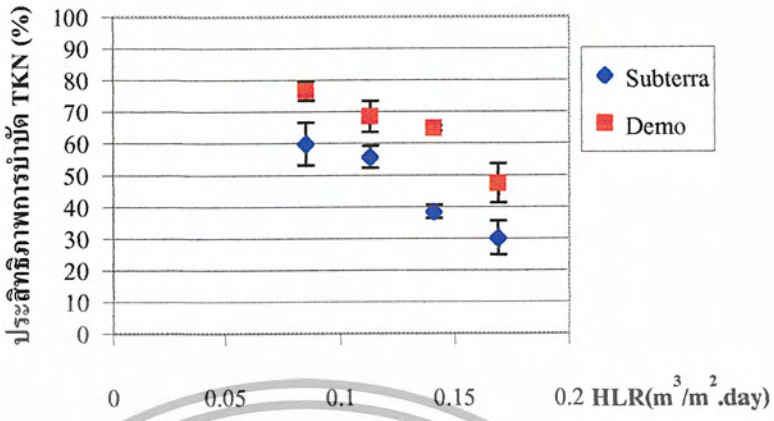


ภาพที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าภาระการรองรับน้ำกับประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดีของระบบ Subterra และระบบ Demo

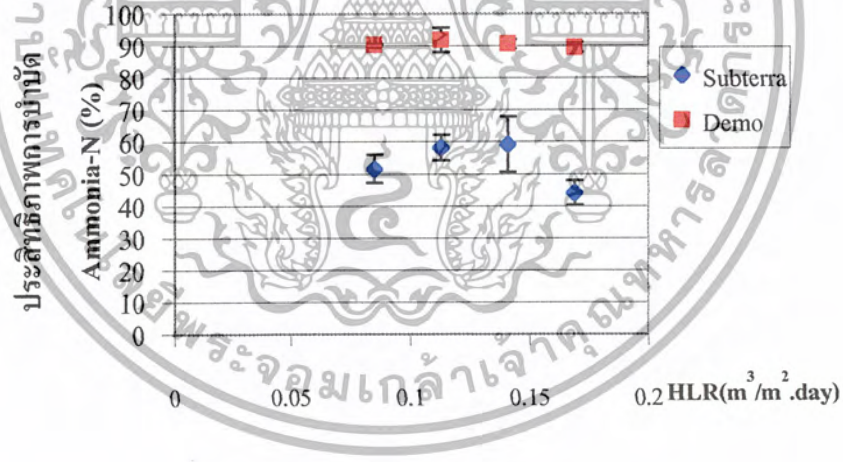
โดยค่าภาระการรองรับน้ำที่เหมาะสมของทั้งระบบ Subterra และระบบ Demo เมื่อทำการพิจารณาจากค่าซีโอดีและค่าบีโอดีของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด พบว่า ค่าซีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดทั้ง 2 ระบบ มีค่าไม่เกินกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมที่ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าภาระการรองรับน้ำที่ต่ำกว่า 0.141 $m^3/m^2.day$ อีกทั้งค่าภาระการรองรับน้ำที่ให้ค่าบีโอดีของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่าต่ำกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้ง 2 ระบบ มีค่าเท่ากับ 0.141 $m^3/m^2.day$ ด้วยเช่นกัน (ดังแสดงในภาพที่ 4.2 และ 4.3) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า โดยค่าภาระการรองรับน้ำที่เหมาะสมที่สุดของทั้งระบบ Subterra และระบบ Demo มีค่าเท่ากับ 0.141 $m^3/m^2.day$

สำหรับปริมาณไนโตรเจนที่วัดอยู่ในรูปของปริมาณเจลดาลห์ไนโตรเจนและปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนนั้น ผลการทดสอบมีค่าค่อนข้างแตกต่างกัน โดยปริมาณเจลดาลห์-ไนโตรเจน เมื่อเพิ่มค่าภาระการรองรับน้ำ ประสิทธิภาพการบำบัดจะมีค่าต่ำลง ดังแสดงในภาพที่ 4.9 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อค่าภาระการรองรับน้ำเพิ่มขึ้น ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำภายในระบบจะน้อยลง ทำให้กระบวนการ Nitrification อาจเกิดไม่สมบูรณ์ ประสิทธิภาพในการบำบัดจึงมีค่าลดลง ส่วนปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนนั้นประสิทธิภาพของการบำบัดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่ม HLR ดังภาพที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบ Subterra และระบบ Demo มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เพราะ ระบบ Subterra นั้นมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง ทั้งนี้อาจเกิดจากระบบ Subterra นั้นเป็นระบบเปิดซึ่งอยู่ในที่โล่ง ยากแก่การควบคุมปัจจัยภายนอก เช่น การได้รับน้ำฝนซึ่งเป็นการเพิ่มค่าภาระการรองรับน้ำอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าภาระการรองรับน้ำกับประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณเจลดาลห์ ไนโตรเจนของระบบ Subterra และ ระบบ Demo

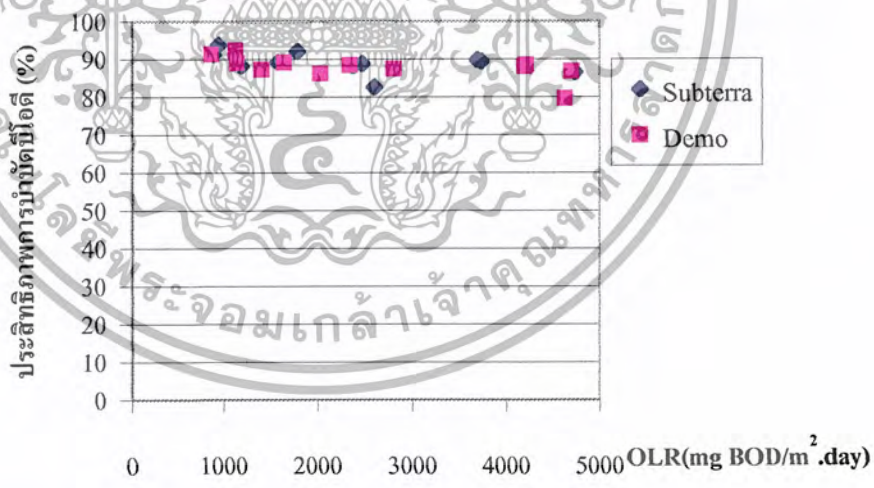


ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าภาระการรองรับน้ำกับประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของระบบ Subterra และ ระบบ Demo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลของค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ (OLR) ต่อการกำจัดสารอินทรีย์

ค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) มีหน่วยเป็น kg/m^2.day เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของบีโอดีต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวของระบบต่อหนึ่งหน่วยเวลา การมีปริมาณสารอินทรีย์ต่อหน่วยพื้นที่ผิวที่มากเกินจะทำให้ออกซิเจนที่อยู่ในระบบไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ของจุลินทรีย์ ดังนั้นการกำหนดค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ที่มากเกินจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียมีค่าลดลง จากการศึกษาระบบ Subterra และ ระบบ Demo กำหนดให้ควบคุม OLR ไม่มากกว่า 5,000 mg BOD/m^2.day เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ดังภาพที่ 4.11 พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดีมีแนวโน้มลดลง เมื่อ OLR เพิ่มขึ้น โดยภายในระบบ Subterra มีค่าประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 82-94% และระบบ Demo มีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 79-93% เมื่อพิจารณาในการบำบัดค่าบีโอดี มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เมื่อค่า OLR เพิ่มขึ้น อาจเกิดจากค่า OLR ยังอยู่ในช่วงความสามารถในการบำบัดของระบบ Subterra และระบบ Demo ทำให้ระบบยังคงสามารถลดสารอินทรีย์ได้เพิ่มมากขึ้น และอาจเกิดจากกระบวนการย่อยสลายทางกายภาพที่เกิดขึ้นร่วมกับการทำงานของจุลินทรีย์ เช่น การตกตะกอน การระเหย หรือการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงทำให้ค่าบีโอดีที่ลดลงมีค่าที่ไม่แตกต่างกันเท่าใดนัก

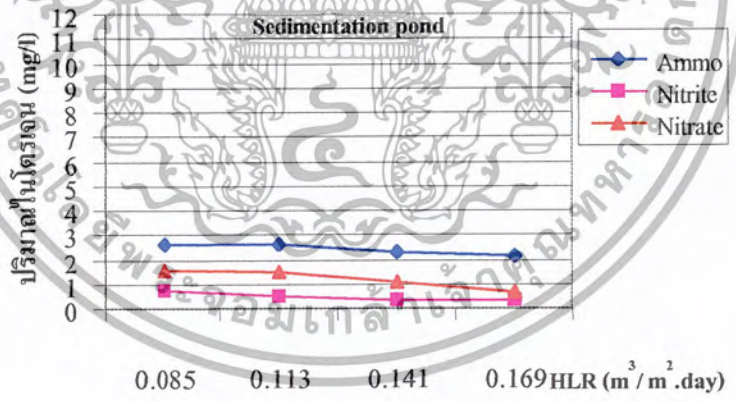


ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดของค่าบีโอดีกับค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ ทั้งระบบ Subterra และระบบ Demo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

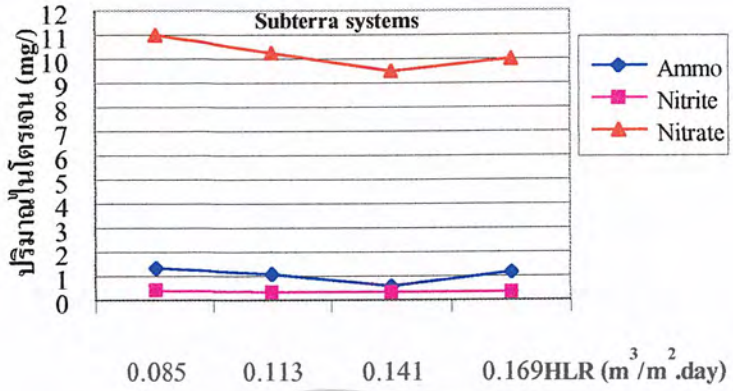
4.5. กระบวนการแปรเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในน้ำทิ้งจาก บ่อตกตะกอน, ระบบ Subterra และ ระบบ Demo

ผลการทดลองนี้สามารถแสดงถึงการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในน้ำทั้งก่อนเข้าระบบบำบัดและผ่านระบบบำบัดแล้ว ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนด้วยระบบ Subterra และแบบจำลองระบบ Subterra (Demo system) ซึ่งจะแสดงค่าออกมาในรูปของค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N), ไนไตรท์-ไนโตรเจน (NO_2^--N) และไนเตรท-ไนโตรเจน (NO_3^--N) พบว่าบ่อตกตะกอนจะมีปริมาณแอมโมเนียสูงที่สุด โดยค่าที่วัดได้อยู่ระหว่าง 2.1-2.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณไนไตรท์และไนเตรทมีค่าอยู่ระหว่าง 0.3-0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.6–1.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.12 อธิบายได้ว่า ไนโตรเจนยังคงอยู่ในรูปของแอมโมเนีย (NH_3) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งน้ำส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียอาคารสำนักงาน และบางส่วนจากสารเคมีที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย เช่น น้ำเสียจากห้องน้ำ เป็นต้น โดยยังไม่มีการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนเกิดขึ้น แต่แอมโมเนีย (NH_3) บางส่วนอาจถูกเปลี่ยนรูปเป็นไนไตรท์และไนเตรทบ้างแล้ว เนื่องจากมีการเติมอากาศในบ่อเติมอากาศก่อนเข้าสู่บ่อตกตะกอน ทำให้พบปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในบ่อตกตะกอนด้วย

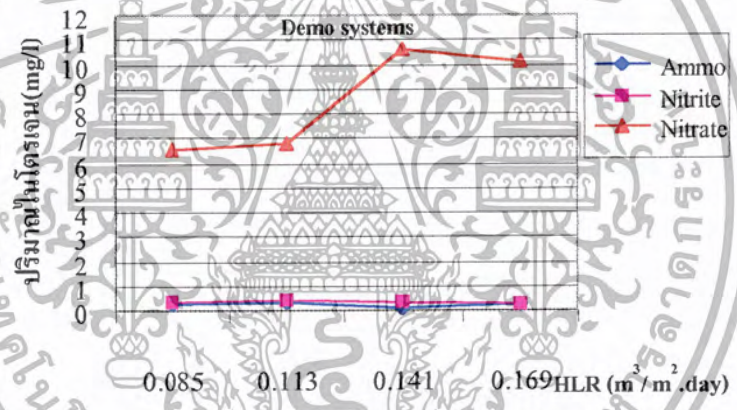


ภาพที่ 4.12 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย, ไนไทรต์ และไนเทรต ภายในบ่อตกตะกอน (Sedimentation Pond)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย, ไนไทรต์ และไนเทรต ภายในระบบบำบัดน้ำทิ้งระบบ Subterra



ภาพที่ 4.14 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย, ไนไทรต์ และไนเทรต ภายในระบบ Demo

ในขณะที่น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ Subterra และระบบ Demo จะมีปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไนเตรท-ไนโตรเจนสูงที่สุด โดยมีค่าจะอยู่ระหว่าง 9.4-11.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 6.5-10.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.13 และ 4.14 ซึ่งค่าจะสูงกว่าค่าที่วัดได้ในบ่อตกตะกอน แต่ในทางกลับกันปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในระบบ Subterra และระบบ Demo นั้นจะมีปริมาณที่ลดลงจากค่าที่วัดได้จากบ่อตกตะกอน คือ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.6-1.4 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 0.1-0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณของไนไตรท์-ไนโตรเจนนั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 0.3-0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.2-0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เมื่อน้ำทิ้งที่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยระบบ Subterra และระบบ Demo จะเกิดการเปลี่ยนรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของไนโตรเจนเกิดขึ้น กล่าวคือ ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะเกิดกระบวนการ Oxidation ทางชีววิทยาโดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบบำบัด ซึ่งกระบวนการที่เปลี่ยนรูปนั้นเรียกว่า กระบวนการ Nitrification โดยแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) จะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไทรต์-ไนโตรเจน (NO_2^--N) ด้วยจุลินทรีย์ประเภท Nitrosomonas และ NO_2^--N เปลี่ยนไปเป็นไนเตรท-ไนโตรเจน (NO_3^--N) ด้วยจุลินทรีย์ประเภท Nitrobacter จึงทำให้น้ำที่ผ่านระบบ Subterra และระบบ Demo มีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนที่สูงขึ้น และมีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ต่ำลง ส่วนปริมาณไนไทรต์-ไนโตรเจนนั้น จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักเนื่องจากไนไทรต์-ไนโตรเจนเป็นรูปของไนโตรเจนที่อยู่ระหว่างการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนไปเป็นไนเตรท-ไนโตรเจน ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนรูปไปตามปฏิกิริยา

$$NH_4^+ + 1/2\ O_2 \longrightarrow NH_4OH + H^+ \quad \text{.....4.1}$$

$$NH_4OH + O_2 \longrightarrow NO_2^- + HOH + H^+ \quad \text{.....4.2}$$

$$NO_2^- + 1/2\ O_2 \longrightarrow NO_3^- \quad \text{.....4.3}$$

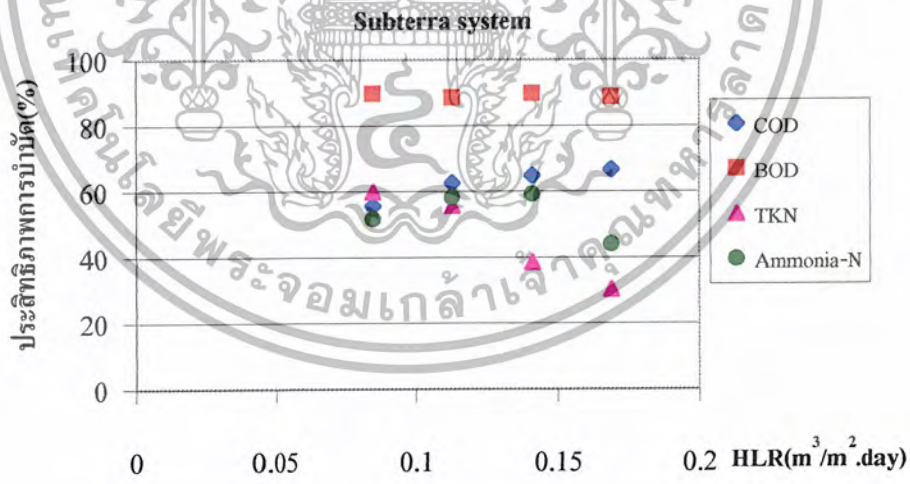
4.6 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ Subterra และ ระบบ Demo

ระบบ Demo เป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงลักษณะการเรียงตัวของชั้นหินและทราย รวมถึงการกระจายตัวของรากพืช ซึ่งมีความสูงและอัตราภาระการรองรับน้ำเท่ากับระบบ Subterra น้ำเสียที่เข้าระบบ Demo เป็นน้ำเสียจากบ่อตกตะกอน เช่นเดียวกับระบบ Subterra โดยขนาดของระบบ Demo ที่เล็กกว่า จึงสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ได้ง่ายกว่า การศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ Subterra กับระบบ Demo เพื่อทดสอบว่าสามารถใช้ระบบ Demo เป็นระบบอ้างอิงในการทำงานของระบบ Subterra ได้ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการนำระบบ Demo ไปใช้ในการศึกษาถึงปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ Subterra ต่อไป เนื่องจาก สามารถควบคุมปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระบบได้ง่ายกว่าการศึกษาในระบบ Subterra จริง ในการศึกษาจะใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการ t-test พิจารณาด้วย

การแปรค่าภาระการรองรับน้ำของทั้ง 2 ระบบให้มีค่าเท่ากัน คือ 0.085, 0.113, 0.141 และ 0.169 $m^3/m^2.day$ โดยใช้ค่าซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น และแอมโมเนีย เป็นพารามิเตอร์ในการเปรียบเทียบ พบว่า การลดลงของสารอินทรีย์โดยใช้เทียบจากค่าซีโอดีและบีโอดีนั้น ให้ผลไม่แตกต่างกัน โดยประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีของระบบ Subterra และ ระบบ Demo มีค่า 63% และ 62% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของระบบ Subterra และระบบ Demo มีค่าเท่ากันคือ 89%

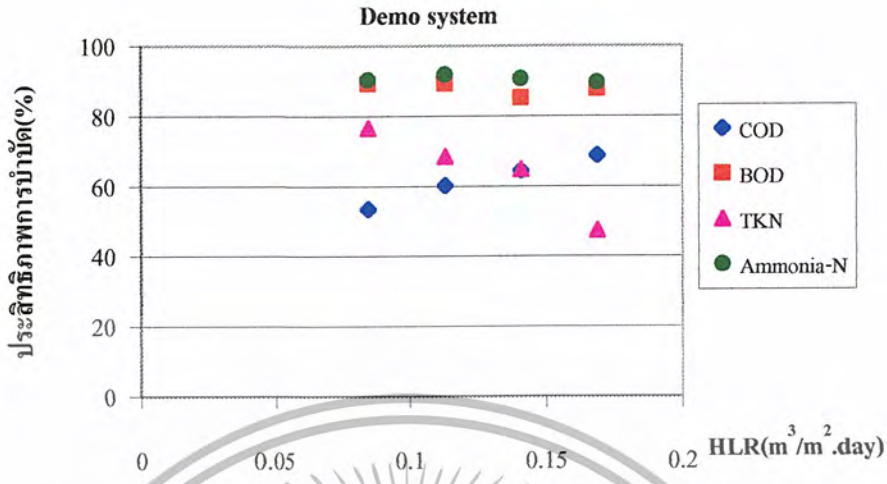
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับปริมาณเจลดาลห์-ไนโตรเจนและแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของทั้ง 2 ระบบ ปริมาณ เจลดาลห์-ไนโตรเจน ของระบบ Subterra และระบบ Demo มีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน ระบบ Subterra มีประสิทธิภาพ 45% ขณะที่ระบบ Demo มีประสิทธิภาพ 63% เช่นเดียวกันกับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ระบบ Subterra มีประสิทธิภาพ 57% ส่วนระบบ Demo มีประสิทธิภาพ 91% เห็นได้ว่าระบบ Demo มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าในการบำบัดไนโตรเจนในรูปต่างๆ ทั้งนี้อธิบายได้ว่า อาจเกิดจากการควบคุมปัจจัยต่างๆ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด เช่น ปริมาณน้ำฝนที่ไม่สามารถควบคุมได้ในระบบ Subterra ทำให้ภาระการรองรับน้ำเพิ่มสูงขึ้น ระยะเวลาที่น้ำอยู่ในระบบ (HRT) น้อยลง ประสิทธิภาพในการบำบัดไม่ดีเท่าที่ควรหรืออาจเกิดจากการระเหย (Volatilization) ของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง ภายในระบบ Demo ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าระบบ Subterra เนื่องจากระบบ Demo เป็นระบบที่สร้างขึ้นด้วยถังอะคริลิกที่โปร่งใสทำให้พื้นที่ผิวที่ได้รับผลจากอุณหภูมิภายนอกเกิดขึ้นรอบทั้งระบบ อุณหภูมิในระบบ Demo จึงสูงกว่าอุณหภูมิในระบบ Subterra ที่ได้รับผลจากอุณหภูมิภายนอกเพียงแค่ผิวด้านบนเท่านั้น การลดลงของปริมาณไนโตรเจนภายในระบบ Demo จึงเกิดขึ้นมากกว่าระบบ Subterra ดังแสดงในภาพที่ 4.15 และ 4.16



ภาพที่ 4.15 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละพารามิเตอร์ที่ค่าภาระการรองรับน้ำต่างๆ ของระบบ Subterra

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละพารามิเตอร์ที่ค่าภาระการรองรับน้ำต่างๆ ของระบบ Demo

เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี t-test โดยใช้โปรแกรม SPSS ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการเปรียบเทียบหาความแตกต่างระหว่าง 2 กลุ่ม โดยการแปลผลให้ดูที่ Significant (2-tailed) ถ้ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 จะแปลผลว่า แตกต่างกัน ในทางตรงข้ามถ้าค่ามากกว่า 0.05 จะแปลผลว่าไม่แตกต่างกัน การศึกษาจะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ระหว่างระบบ Subterra และ ระบบ Demo ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งแปลผลได้ดังนี้ ระบบ Subterra และ ระบบ Demo มีค่าเฉลี่ยของค่าซีโอดี, บีโอดี, ทีเคเอ็น, ไนไทรต์ และไนเทรต ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 เนื่องจากความสามารถของกลไกภายในทั้ง 2 ระบบที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกัน สำหรับค่าเฉลี่ยของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05โดยระบบ Demo จะมีค่ามากกว่าระบบ Subterra ทั้งนี้อาจเนื่องจากเหตุผลที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ระบบ Demo สามารถใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาการทำงานของระบบ Subterra ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี t-test เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ระหว่างระบบ Subterra และ ระบบ Demo

พารามิเตอร์	ระดับนัยสำคัญที่ 0.05	Sig. (2-tailed)	การแปลผล
ค่าซีโอดี	0.05	0.583	ไม่แตกต่างระหว่างระบบ Subterra และระบบ Demo ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05
ค่าบีโอดี	0.05	0.227	ไม่แตกต่างระหว่างระบบ Subterra และระบบ Demo ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05
ค่าเจลคาลห์ไนโตรเจน	0.05	0.168	ไม่แตกต่างระหว่างระบบ Subterra และระบบ Demo ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05
ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน	0.05	0.002	แตกต่างระหว่างระบบ Subterra และระบบ Demo ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05
ค่าไนไทรต์-ไนโตรเจน	0.05	0.337	ไม่แตกต่างระหว่างระบบ Subterra และระบบ Demo ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05
ค่าไนเทรต-ไนโตรเจน	0.05	0.217	ไม่แตกต่างระหว่างระบบ Subterra และระบบ Demo ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

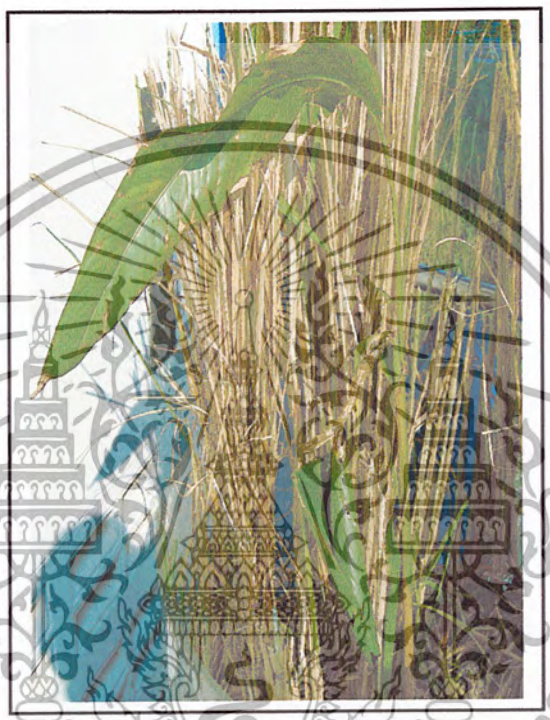
4.7 ความสามารถในการเจริญเติบโตของต้นธรรมรักษาภายในแบบจำลองระบบ Subterra

การทดสอบความสามารถในการเจริญเติบโตของต้นธรรมรักษาภายในแบบจำลองระบบ Subterra หรือ ระบบ Demo เพื่อเป็นการศึกษาและหาพันธุ์พืชชนิดอื่นๆ นอกจากต้นอ้อ ต้นกก และพืชที่เคยได้รับการศึกษามาก่อน ที่สามารถทนทานต่อสภาวะน้ำเสียที่มี NMP ปนเปื้อนอยู่ได้ โดยได้ทำการปลูกต้นธรรมรักษาร่วมกับต้นอ้อไว้เป็นจำนวน 2 ต้นในระบบ Demo ซึ่งมีความสูงขณะปลูกอยู่ที่ 55 cm. และ 50 cm. ตามลำดับ จากการทดสอบนี้ ได้ทำการปรับค่าภาระการรองรับน้ำ (HLR) และ OLR เข้าสู่แบบจำลองในอัตราที่สูงขึ้นเรื่อยๆ พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป 2 เดือน ต้นธรรมรักษามีการเจริญเติบโตขึ้นโดยวัดความสูงได้ 62 cm. และ 60 cm. ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.17 และเมื่อระยะเวลาผ่านไป 3 เดือน ได้ทำการวัดซ้ำอีกครั้ง ต้นธรรมรักษามีความสูงเพิ่มขึ้นเป็น 66 cm. และ 65.5 cm. ตามลำดับ แต่ยังไม่มีหน่อของต้นธรรมรักษาแตกออกมาเพิ่มจากตอนเริ่มแรกที่ทำการปลูก เนื่องมาจากระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบน้อยกว่าช่วงระยะเวลาการแตกหน่อซึ่งอยู่ประมาณ 3-4 เดือน (พาณิชย์, 2540) และอาจเกิดจากความสามารถในการเจริญเติบโตของต้นอ้อซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลูกไว้ก่อนหน้าแล้วมีมากกว่าต้นธรรมรักษาที่นำไปปลูกใหม่ รวมถึงปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น แสงแดด อากาศ อุณหภูมิ ธาตุอาหารในดิน เป็นต้น

การทดสอบนี้แสดงให้เห็นถึงความทนทานของต้นธรรมรักษาต่อสภาวะน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนสาร NMP ที่ในระบบ Demo ได้ และยังสามารถเจริญเติบโตได้อีกด้วย อีกทั้งสามารถนำต้นนี้ไปปลูกแซมกับต้นอ้อเพื่อความสวยงามให้กับพื้นที่



ภาพที่ 4.17 ลักษณะของต้นธรรมรักษาที่ทำการปลูกภายในระบบ Demo เป็นระยะเวลา 2 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อน N-Methylpyyrolidone (NMP) ด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวดิ่ง โดยศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างระบบ Subterra และแบบจำลองที่เรียกว่า ระบบ Demo

จากผลการวิจัย เมื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณ 3 จุด คือ บ่อตกตะกอน, ระบบ Subterra และระบบ Demo ที่มีการปรับค่าภาระการรองรับน้ำ (HLR) เป็น 0.085, 0.113, 0.141 และ0.169 m^3/m^2.day พบว่า

1. ระบบ Subterra และระบบ Demo สามารถปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของน้ำทิ้ง เช่น สี กลิ่น และ ความขุ่น ให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และสามารถลดปริมาณ NMP ซึ่งวัดเทียบจากค่าซีโอดีได้ โดยในระบบ Subterra สามารถบำบัดค่า COD ได้ 62.47%, ค่า BOD 88.94% และปริมาณ TKN 44.41% ตามลำดับ สำหรับระบบ Demo สามารถบำบัดลดค่า COD 61.78%, ค่า BOD 87.86% และปริมาณ TKN 63.53% โดยมีค่าภาระการรองรับน้ำที่ 0.141 m^3/m^2.day ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

2. ค่าภาระการรองรับน้ำ (HLR) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบ Subterra และระบบ Demo นั้น พบว่าเมื่อค่าภาระการรองรับน้ำเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดที่วัดด้วยค่าซีโอดีมีประสิทธิภาพดีขึ้นทั้ง 2 ระบบ รวมถึงค่าบีโอดีที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างคงที่ เนื่องจากระบบ Subterra และระบบ Demo ยังสามารถบำบัดปริมาณน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นได้ ส่วนผลของค่า HLR ต่อปริมาณเจลดาลห์-ไนโตรเจนและปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เมื่อเพิ่มค่าภาระการรองรับน้ำ ทำให้ปริมาณเจลดาลห์-ไนโตรเจนมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ต่ำลง เช่นเดียวกับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่มีประสิทธิภาพของการบำบัดที่ลดลงเช่นกัน เนื่องจากเมื่อค่าภาระการรองรับน้ำเพิ่มขึ้น ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำภายในระบบจะน้อยลง ทำให้กระบวนการ Nitrification อาจเกิดไม่สมบูรณ์

3. ค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ (OLR) ต่อการกำจัดสารอินทรีย์ ของระบบ Subterra และระบบ Demo ที่ OLR ไม่มากกว่า 5,000 mg BOD/m^2.day พบว่า เมื่อ OLR เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดีมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย โดยภายในระบบ Subterra มีค่าประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 82-94% และระบบ Demo มีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 79-93% อาจเกิดจากค่า OLR ยังอยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงความสามารถในการบำบัดของระบบ Subterra และระบบ Demo ทำให้ระบบยังคงสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ Subterra และระบบ Demo พบว่าค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ระหว่างระบบ Subterra และระบบ Demo ให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกันกับการพิจารณาทางสถิติด้วยวิธี t-test ที่ให้ผลว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ยกเว้นกรณีของค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ดังนั้นสรุปได้ว่า ระบบ Demo สามารถใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาการทำงานของระบบ Subterra ได้

5. เมื่อนำผลสรุปข้างต้นมาพิจารณาทำให้ทราบว่าสามารถใช้ระบบ Demo ในการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นธรรมรักษาภายในระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารเคมีได้ โดยพบว่าต้นพืชมีการเจริญเติบโตเมื่อเทียบจากความสูงที่เพิ่มขึ้น แต่ยังไม่มีหน่อของต้นธรรมรักษาแตกออกมา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ต้นธรรมรักษาสามารถทนทานต่อสภาวะน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนสารเคมีและเจริญเติบโตภายในระบบบำบัดได้

ข้อเสนอแนะแนวทางการค้นคว้าวิจัย

1. ควรศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณสาร NMP ที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งโดยตรงเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพการบำบัดที่แท้จริง เช่น เครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟ (GC) เครื่องHigh Performance liquid chromatographic (HPLC) เป็นต้น
2. ควรศึกษากระบวนการบำบัดภายในระบบที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนเพื่อให้ทราบถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในระบบ
3. ศึกษาถึงความสามารถในการทนทานต่อน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารเคมีของต้นพืชชนิดอื่น
4. การศึกษาค่าภาระการรองรับน้ำ (HLR) ควรจะควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบให้คงที่
5. ช่วงฤดูฝนควรคำนวณค่าภาระการรองรับน้ำ (HLR) ให้มีค่าลดลง เพื่อรองรับปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมชลประทาน. 2532. **ระบบบำบัดน้ำเสียอันเนื่องมาจากพระราชดำริหนองสนม อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร.** เอกสารเผยแพร่ 3 : กรมชลประทาน.

กิติพร พรหมเทศน์ และ สุนัน แรมสว่าง. 2544 . **การกำจัดโครเมียมจากน้ำเสียด้วยต้นธูปฤาษี.** โครงงานพิเศษระดับปริญญาตรี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2537. **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสียเล่มที่ 3.** กรุงเทพฯ : มิตรนภาการพิมพ์.

จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2530. **เคมีของดิน (Soil Chemistry).** กรุงเทพ ฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ .

ทวีศักดิ์ บุตรตัน. มิถุนายน 2546. "สิ่งแวดล้อม," **มติชน.** หน้า 50.

พาณิชย์ ยศปัญญา. 2540. ธรรมรักษา (Heliconia). ใน **ไม้ตัดดอก เมืองร้อน.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพ ฯ: สำนักพิมพ์มติชน .

บริษัท รีไซเคิล เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด .(ม.ป.ป.) ระบบบำบัดน้ำเสีย (ซีดีรอม) .ชลบุรี : บริษัท รีไซเคิล เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด.

ศรีปราชญ์ ธไนศวรรยางกูร, พูนพิภพ เกษมทรัพย์ และทรงคุณ สิงหราชวัลลภ. 2542. การให้ออกซิเจนในน้ำเสียของธูปฤาษี. ใน **เอกสารสัมมนาวิชาการ เรื่อง เทคโนโลยีการกำจัดขยะแบบประหยัดและการบำบัดน้ำเสียด้วยพืช** โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ มูลนิธิชัยพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 28/1-28/10. กรุงเทพฯ : มูลนิธิชัยพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุชาดา ศรีเพ็ญ. 2530. **พรรณไม้น้ำ.** กรุงเทพ ฯ : ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

APHA – AWWA - WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed, APHA, N.Y., 1998

BASF, Corporation. 1998. N-Methylpyrrolidone Biodegradability. In: **BASF Intermediates.** Canada : BASF Corporation .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cameron, K., Madramootoo, C., Crolla, A. and Kinsley, C. 2003. Pollutant removal from municipal sewage lagoon effluents with a free-surface wetland. **Water Research.** 37 : 2803-2812 .

Chow, S.T. and Ng, T.L. 1983. The biodegradation of N-Methylpyrrolidone in water by sewage bacteria . **Water Research.** 17 : 117-118.

Gerald , A.M. 2000. **Constructed wetland for water quality improvement.** 2nd ed. Florida : CRC Press.

Gerike, P. and Fisher, W.K. 1979. A correlation study of biodegradability determinations with various chemical in various tests . **Ecotoxicity and Enviromental Safety.** 3 :159.

Grosse, W. 1989. **Constructed wetlands for wastewater treatment**, Page 469-476. Michigan : Lewis Publishing Inc .

Kantawanichkul, S., Pilaila, S., Tanapiawanich, W., Tikampornpittaya, W. and Kamkrua, S. 1999. Wastewater treatment by tropical plants in vertical-flow constructed wetland. **Water Science and Technology.** 40(3) : 173-178 .

Lim, T.E. and Polprasert, C. 1996 . **Environmental Systems Reviews.** 4th . Thailand: Asian Institute of Technology.

Maehlum, T. and Stalanacke, P. 1999 . Removal efficiency of tree-cold-Climate constructed wetland treating domestic wastewater effects of temperature, season, loading rate and input concentrations. **Water Science and Technology.** 40(3) : 273-281.

Matsui , S., Murakimi, T., Sasaki, T., Hirose, Y. and Lguma, Y. 1975. Activated sluge Degradability of organic substance in the wastewater of Kashima Petroleum and Petrochemical Industrial complex in Japan . **Progress in Water Technology.** 7 : 645-659 .

New York State Department of Health. 2001. Annual Report on Public Water Supply Violations. **http://www.health.state.ny.us/nysdoh/bpwsp/2001/appenda.htm**

Shea, J.A., Cook, C.S., Shamrock, F.W. and Segretario, J. 1998. Quantitation of residual N-Methylpyrrolidone in Losoxantrene Hydrochloride by Reversed-Phase high-performance Liquid Chromatography. **Journal of Chromatographic Science.** 36 : 187-190.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

von Gunten, U. and Zobrist, J. 1993. Biogeochemical change in ground water-infiltration systems: column studies . **Geochemical.** 57 : 3895-3906.

Weinhart, S., Steinmann, C.R., and Melzer, A. 2003. A Combined system of lagoon and constructed wetland for an effective wastewater treatment. **Water Research.** 37: 2035-2042 .

http://www.basf.com/static/OpenMarket/Xcelerate/Preview_Cid-974236981086_pubid-9742367 : access on 3 April 2003.

http://www.basf.com/stodic/openmarket/xcelerate/Preview-cid-974236981086_pubid-974236707292_c:Article.html. : access on 4 September 2003.

http://www.merck.co.th/eng/manual/msds/thai/1052/105215.htm : access on 4 September 2003.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

1 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ตารางที่ ก-1. ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5 – 9.0	pH Meter
2. ค่าทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	- ไม่เกิน 3,000 มก/ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. - น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเลค่าที่ดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าที่ดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก./ล.	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มก./ล หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตาม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล.	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40 °C	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
6. ซัลไฟด์ (Sulfide as H_2S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	ไทเทรต
7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1. ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
8. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มก./ล.	สกัดด้วยตัวทำลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
9. ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectrophotometry
10. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Iodometric Method
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด	Gas-Chromatography
13. ค่าบีโอดี (5 วัน ที่อุณหภูมิ 20°C (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200มก./ล.	Kjeldahl
15. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มก./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรอบรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1. ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
16. โลหะหนัก (Heavy Metal) 1. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
2. โครเมียมชนิดเฮ็ก-ซาวาเลนท์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	
3. โครเมียมชนิดไตรวาเลนท์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	Atomic Absorption Spectro-photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plama : ICP
4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	
5. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล.	
6. แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
7. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
8. นิคเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
10. อาร์เซนิค (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	- Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
11. เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	
12. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	- Atomic Absorption Cold Vapour technique

แหล่งที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 กำหนดประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม

2.1 ในประกาศนี้

- "โรงงานอุตสาหกรรม" หมายความว่า โรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน

- "นิคมอุตสาหกรรม" หมายความว่า นิคมอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วยนิคมอุตสาหกรรม หรือโครงการที่จัดไว้สำหรับการประกอบอุตสาหกรรมที่มีการจัดการระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมร่วมกัน

- "น้ำเสีย" หมายความว่า ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมวลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น

- "น้ำทิ้ง" หมายความว่า น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมหรือนิคมอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม หรือในนิคมอุตสาหกรรมด้วย โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

- "แหล่งน้ำสาธารณะ" ให้หมายความรวมถึง ท่อระบายน้ำสาธารณะด้วย

- "การบำบัดน้ำเสีย" หมายความว่า กระบวนการทำหรือปรับปรุงน้ำเสียเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม แต่ทั้งนี้ ห้ามมิให้ใช้วิธีการทำให้เจือจาง (Dilution)

2.2 โรงงานอุตสาหกรรมจำพวกที่ 2 และจำพวกที่ 3 ตามบัญชีท้ายประกาศนี้ เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม

2.3 นิคมอุตสาหกรรม ตามข้อ 2.1 เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูก ควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ห้ามมิให้เจ้าของหรือผู้ครอบครองโรงงานอุตสาหกรรมหรือนิคมอุตสาหกรรมตามข้อ 2.2 และข้อ 2.3 ปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม เว้นแต่น้ำเสียดังกล่าวไม่ว่าผ่านการบำบัดหรือไม่ก็ต้องมีคุณภาพตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง จากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

แหล่งที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2539) วันที่ 3 มกราคม 2539 ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ง ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

3 กำหนดประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่อนุญาตให้ระบายน้ำทิ้งให้มีค่ามาตรฐานแตกต่างจากค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิด ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

3.1 ให้โรงงานอุตสาหกรรม จำพวกที่ 2 และจำพวกที่ 3 ดังต่อไปนี้ ระบายน้ำทิ้งที่มีค่าบีโอดีไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ

- โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับสัตว์ ซึ่งมิใช่สัตว์น้ำ ประเภทการฆ่าสัตว์
- โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเมล็ดพืช หรือหัวพืชประเภทการทำแป้ง
- โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับอาหารจากแป้งอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง
- โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับอาหารสัตว์อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง
- โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับสิ่งทอ ด้านหรือเส้นใย ซึ่งมิใช่ใยหิน (Asbestos) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง
- โรงงานหมัก ชำแหละ อบ ป่นหรือบด ฟอก ขัดและแต่ง แต่งสำเร็จ อัดเป็นลายนูน หรือเคลือบสีหนังสัตว์
- โรงงานผลิตเยื่อหรือกระดาษอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเคมีภัณฑ์ สารเคมี หรือวัสดุซึ่งมิใช่ปุ๋ยอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง

- โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับยาอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง

- โรงงานห้องเย็น

3.2 ภายใน 1 ปี นับแต่วันที่ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2539) มีผลใช้บังคับให้โรงงานอุตสาหกรรม จำพวกที่ 2 และจำพวกที่ 3 ตามบัญชีท้ายประกาศข้างต้น ระบายน้ำทิ้งที่มีค่าทีเคเอ็น ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เว้นแต่โรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 3

3.3 ภายใน 2 ปี นับแต่วันที่ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2539) มีผลใช้บังคับให้โรงงานอุตสาหกรรม จำพวกที่ 2 และจำพวกที่ 3 ดังต่อไปนี้ ระบายน้ำทิ้งที่มีค่าทีเคเอ็นไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ

- โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ เครื่องปรุงหรือเครื่องประกอบอาหาร ประเภทการทำ เครื่องปรุงกลิ่น รส หรือสีของ

- โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับอาหารสัตว์ประเภทการทำอาหารผสม หรืออาหารสำเร็จรูป สำหรับเลี้ยงสัตว์

3.4 ให้โรงงานอุตสาหกรรมจำพวกที่ 2 และจำพวกที่ 3 ดังต่อไปนี้ ระบายน้ำทิ้งที่มีค่าซีโอดีไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ

- โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเครื่องปรุงหรือเครื่องประกอบอาหาร ประเภทการทำเครื่องปรุง กลิ่น รส หรือสีของอาหาร

- โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับอาหารสัตว์ ประเภทการทำอาหารผสม หรืออาหารสำเร็จรูปสำหรับเลี้ยงสัตว์

- โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับสิ่งทอ ด้ายหรือเส้นใย ซึ่งมิใช่ใยหิน (Asbes-tos) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง

- โรงงานหมัก ชำแหละ อบ ป่นหรือบด ฟอก ขัดและแต่ง แต่งสำเร็จ อัดให้เป็นลายนูน หรือเคลือบสีหนังสัตว์

- โรงงานผลิตเยื่อหรือกระดาษอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง

แหล่งที่มา : ประกาศคณะกรรมการควบคุมมลพิษ วันที่ 20 สิงหาคม 2539 ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 75 ง ลงวันที่ 17 กันยายน 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง ความถี่และระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งให้เก็บ ณ จุดที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมนอกเขตที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรม หรือนิคมอุตสาหกรรม ในกรณีที่มีการระบายน้ำทิ้งหลายจุดให้เก็บทุกจุด

4.2 วิธีการเก็บ ความถี่และระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งให้เป็นไปดังนี้

- โรงงานอุตสาหกรรม จำพวกที่ 2และจำพวกที่ 3 ให้เก็บแบบจ้วง 1 ครั้ง
- นิคมอุตสาหกรรม ให้เก็บแบบผสมผสาน โดยเก็บ 4 ครั้ง ๆ ละ 500 มิลลิลิตร ทุก 2 ชั่วโมงต่อเนื่องกัน

แหล่งที่มา : ประกาศควบคุมมลพิษ วันที่ 28 ตุลาคม 2539 ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา **เล่มที่** 113 ตอนที่ 91 ง ลงวันที่ 12 พฤศจิกายน 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

รายละเอียดผลการทดลอง

ตารางที่ ข-1. ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสีย

ตัวอย่างน้ำ	ลักษณะทางกายภาพ	พารามิเตอร์		
		Temp.(°C)	pH	DO(mg/l)
Sediment 1	น้ำเขียวใสมีกลิ่น	27.2	7.5	0.7
Sediment 2	น้ำเขียวใสมีกลิ่น	27.5	7.8	0.7
Subterra 1	น้ำใสไม่มีกลิ่น	26.8	6.3	0.7
Subterra 2	น้ำใสไม่มีกลิ่น	26.5	6.3	0.7
Demo. 1	น้ำใสไม่มีกลิ่น	28.0	6.3	0.7
Demo. 2	น้ำใสไม่มีกลิ่น	28.4	6.4	0.7

ตารางที่ ข-2. ค่าซีโอดี (mg/l) ของน้ำเสีย

sample	HLR 0.085 (m^3/m^2.day)			HLR 0.113 (m^3/m^2.day)			HLR 0.141 (m^3/m^2.day)			HLR 0.169 (m^3/m^2.day)		
	22.10.03	03.11.03	05.11.03	12.11.03	14.11.03	17.11.03	26.11.03	28.11.03	01.12.03	16.12.03	18.12.03	22.12.03
Sediment	138.4	154.4	178.9	218.3	222.0	218.1	294.0	250.4	318.0	425.2	421.2	355.6
Subterra	58.3	66.2	86.4	74.2	98.0	74.0	92.6	108.6	97.6	134.4	140.0	124.8
Demo.	70.1	62.4	86.2	94.0	90.0	78.0	98.0	102.0	102.0	138.0	117.2	118.8

ตารางที่ ข-3. ค่าบีโอดี (mg/l) ของน้ำเสีย

sample	HLR 0.085 (m^3/m^2.day)			HLR 0.113 (m^3/m^2.day)			HLR 0.141 (m^3/m^2.day)			HLR 0.169 (m^3/m^2.day)		
	22.10.03	03.11.03	05.11.03	12.11.03	14.11.03	17.11.03	26.11.03	28.11.03	1.12.03	16.12.03	18.12.03	22.12.03
Sediment	120.00	122.50	130.00	133.50	132.50	130.00	144.50	160.80	158.30	209.50	216.80	208.30
Subterra	14.00	10.50	13.50	8.35	23.00	14.00	16.85	12.65	17.55	22.10	21.85	28.00
Demo.	10.25	13.50	16.50	14.55	10.00	18.00	16.60	32.80	19.90	27.80	24.95	24.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4. ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg/l) ของน้ำเสีย

Sample	HLR 0.085 (m^3/m^2.day)			HLR 0.113 (m^3/m^2.day)			HLR 0.141 (m^3/m^2.day)			HLR 0.169 (m^3/m^2.day)		
	22.10.03	03.11.03	05.11.03	12.11.03	14.11.03	17.11.03	26.11.03	28.11.03	01.12.03	16.12.03	18.12.03	22.12.03
Sediment	2.563	2.573	2.595	2.571	2.632	2.638	1.477	1.231	1.169	2.143	2.097	2.207
Subterra	1.625	1.202	1.165	0.963	1.190	1.128	0.768	0.394	0.621	0.909	1.162	1.325
Demo.	0.241	0.254	0.251	0.243	0.5585	0.102	0.009	0.065	0.133	0.184	0.237	0.249

ตารางที่ ข-5. ปริมาณเจลดาลห์ไนโตรเจนทั้งหมด (mg/l) ของน้ำเสีย

sample	HLR 0.085 (m^3/m^2.day)			HLR 0.113 (m^3/m^2.day)			HLR 0.141 (m^3/m^2.day)			HLR 0.169 (m^3/m^2.day)		
	22.10.03	03.11.03	05.11.03	12.11.03	14.11.03	17.11.03	26.11.03	28.11.03	01.12.03	16.12.03	18.12.03	22.12.03
Sediment	35.00	32.20	38.50	26.60	29.40	28.00	34.30	32.55	36.40	39.62	34.30	41.37
Subterra	12.60	15.40	14.00	12.60	11.90	15.40	21.00	24.00	21.70	25.27	25.34	29.68
Demo.	8.40	8.40	7.70	9.52	7.70	11.90	11.90	11.75	12.60	20.58	20.23	19.32

ตารางที่ ข-6. ปริมาณไนไทรต์-ไนโตรเจน (mg/l) ของน้ำเสีย

sample	HLR 0.085 (m^3/m^2.day)			HLR 0.113 (m^3/m^2.day)			HLR 0.141 (m^3/m^2.day)			HLR 0.169 (m^3/m^2.day)		
	22.10.03	03.11.03	05.11.03	12.11.03	14.11.03	17.11.03	26.11.03	28.11.03	01.12.03	16.12.03	18.12.03	22.12.03
Sediment	0.743	0.662	0.843	0.601	0.450	0.307	0.404	0.365	0.309	0.445	0.308	0.302
Subterra	0.294	0.549	0.425	0.285	0.527	0.293	0.232	0.291	0.309	0.392	0.424	0.261
Demo.	0.296	0.359	0.336	0.285	0.299	0.526	0.344	0.301	0.446	0.264	0.261	0.265

ตารางที่ ข-7. ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจน (mg/l) ของน้ำเสีย

sample	HLR 0.085 (m^3/m^2.day)			HLR 0.113 (m^3/m^2.day)			HLR 0.141 (m^3/m^2.day)			HLR 0.169 (m^3/m^2.day)		
	22.10.03	03.11.03	05.11.03	12.11.03	14.11.03	17.11.03	26.11.03	28.11.03	01.12.03	16.12.03	18.12.03	22.12.03
Sediment	1.089	2.343	2.066	1.171	2.804	0.510	2.373	2.0445	2.625	0.516	0.757	0.815
Subterra	10.936	10.453	11.528	10.544	9.678	10.654	10.533	9.706	8.131	9.562	9.976	10.442
Demo.	6.205	6.613	6.677	6.235	6.158	7.838	10.304	10.424	10.999	10.849	10.304	9.206

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-8. อัตราภาระการรองรับน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี

HLR(m^3/m^2.day)	ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)			
	Subterra	SD	Demo	SD
0.085	55.60	3.42	53.57	5.47
0.113	62.65	5.89	60.18	3.72
0.141	64.94	7.05	64.60	4.71
0.169	66.70	1.75	68.75	3.00

ตารางที่ ข-9. อัตราภาระการรองรับน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดี

HLR(m^3/m^2.day)	ประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดี (%)			
	Subterra	SD	Demo	SD
0.085	89.78	1.56	89.25	2.08
0.113	88.54	5.60	89.24	3.15
0.141	89.79	2.04	85.17	4.86
0.169	88.64	1.82	87.76	0.92

ตารางที่ ข-10. อัตราภาระการรองรับน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณเจลดาลห์ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)

HLR(m^3/m^2.day)	ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณเจลดาลห์ไนโตรเจนทั้งหมด (%)			
	Subterra	SD	Demo	SD
0.085	59.93	6.72	76.63	3.09
0.113	55.71	3.50	68.50	4.87
0.141	38.47	2.07	64.86	0.83
0.169	30.20	5.32	47.45	6.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-11. อัตราภาระการรองรับน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน

HLR(m^3/m^2.day)	ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (%)			
	Subterra	**SD**	**Demo**	**SD**
0.085	51.66	4.47	90.36	0.22
0.113	58.19	3.96	91.82	3.83
0.141	59.23	8.68	90.60	1.49
0.169	44.07	3.82	89.60	1.56

ตารางที่ ข-12. เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ภายในบ่อตกตะกอน ในแต่ละวันด้วยวิธี t-test โดยโปรแกรม SPSS

วันที่	ค่า Sig.(2-tailed) ของแต่ละพารามิเตอร์						การแปลผล
	COD	**BOD**	**TKN**	**Ammonia-N**	**Nitrite-N**	**Nitrate-N**	
22-Oct กับ 3-Nov	0.592	0.698	0.293	0.919	0.265	0.546	ไม่แตกต่างระหว่างค่าพารามิเตอร์ในแต่ละวันที่ระดับนัยสำคัญที่0.05
3-Nov กับ 5-Nov	0.493	0.312	0.148	0.899	0.081	0.549	
5-Nov กับ 12-Nov	0.079	0.586	0.055	0.889	0.063	0.481	
12-Nov กับ 14-Nov	0.553	0.895	0.293	0.320	0.064	0.064	
14-Nov กับ 17-Nov	0.553	0.808	0.712	0.893	0.065	0.078	
17-Nov กับ 26-Nov	0.083	0.165	0.251	0.063	0.063	0.208	
26-Nov กับ 28-Nov	0.083	0.108	0.798	0.419	0.051	0.910	
28-Nov กับ 1-Dec	0.087	0.717	0.162	0.819	0.068	0.863	
1-Dec กับ 16-Dec	0.066	0.198	0.162	0.090	0.066	0.077	
16-Dec กับ 18-Dec	0.848	0.729	0.057	0.635	0.059	0.112	
18-Dec กับ 22-Dec	0.094	0.824	0.059	0.253	0.099	0.771	

หมายเหตุ : การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี t-test โดยโปรแกรม SPSS ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ในแต่ละวัน โดยการแปรผลให้ดูที่ Sig.(2-tailed) ถ้ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 จะแปลผลว่าแตกต่างกัน ในทางตรงข้ามถ้าค่ามากกว่า 0.05 แปลผลว่า ไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-13. ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดีกับค่าภาระการรองรับสารอินทรีย์ (OLR)

HLR ($m^3/m^2.day$)	Subterra		Demo	
	OLR (BOD) ($mg/m^2.day$)	BOD removal (%)	OLR (BOD) ($mg/m^2.day$)	BOD removal (%)
0.085	1.19	88.30	0.87	91.46
0.085	0.89	91.43	1.14	88.94
0.085	1.14	89.60	1.40	87.31
0.113	0.94	93.76	1.64	89.12
0.113	2.60	82.64	1.13	92.14
0.113	1.58	89.26	2.03	86.15
0.141	2.37	88.34	2.34	88.51
0.141	1.78	92.13	4.62	79.60
0.141	2.47	88.91	2.80	87.42
0.169	3.73	89.45	4.69	86.73
0.169	3.69	89.92	4.21	88.49
0.169	4.73	86.55	4.19	88.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้