การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเป็นระบบบำบัดขั้นที่สามในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

นางสาวสุธาสินี ภู่มุสิก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-5576-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

USING SUB-SURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLAND FOR THE TERTIARY COMMUNITY HOUSING WASTEWATER TREATMENT

Miss Suthasinee Poomusig

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Master of Science in Environmental Science (Inter-Department)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2003

ISBN 974-17-5576-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเป็นระบบบำบัดขั้นที่สาม ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน
โดย	นางสาวสุธาสินี ภู่มุสิก
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กีระนันทน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

……อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

……กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง)

……กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เขมรัฐ โอสถาพันธุ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นางสาวสุธาสินี ภู่มุสิก: การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเป็นระบบบำบัดขั้นที่สามในการบำบัดน้ำเสียชุมชน. (USING SUB-SURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLAND FOR THE TERTIARY COMMUNITY HOUSING WASTEWATER TREATMENT) อ. ที่ปรึกษา: รศ. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, อ. ที่ปรึกษาร่วม: ผศ.ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 137 หน้า. ISBN 974-17-5576-7.

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาถึงการใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (Sub-Surface Flow Constructed Wetland) ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืชกับระบบที่ปลูกพืช 2 ชนิด คือธรรมรักษา (*Heliconia psittacorum* cv 'Lady Di') และขิงแดง (*Alpinia purpurata*) ที่มีตัวกลางกรวดขนาดเดียวกัน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วัน หรือคิดเป็นอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 10.78 5.43 และ 3.62 เซนติเมตรต่อวัน ทำการทดลองโดยป้อนน้ำเสียจากถังแยกปัสสาวะผสมกับน้ำเสียจากบ้านเรือนที่ผ่านระบบบำบัดขั้นที่สอง จากระบบถังเกรอะ-กรองไร้อากาศ และผ่านการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนแล้วเข้าสู่ชุดการทดลอง ผลการทดลองพบว่าระบบบึงประดิษฐ์จะมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้นเมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำสูงขึ้น ส่วนการปลูกพืชในระบบบึงประดิษฐ์มีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น โดยระบบที่ปลูกต้นธรรมรักษาและต้นขิงแดง มีประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำและการเจริญเติบโตของพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วันมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงที่สุด โดยสามารถบำบัดบีโอดี ซีโอดี ของแข็งทั้งหมด ทีเคเอ็น ไนไตรต์ไนโตรเจน ไนเตรตไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มได้ร้อยละ 90.19 78.45 26.13 93.88 71.60 72.59 77.39 และ 99.99 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา สหสาขาวิชา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2546 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4489114120: MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: CONSTRUCTED WETLAND /SUBSURFACE-FLOW / HELICONIA / RED GINGER

SUTHASINEE POOMUSIG: USING SUB-SURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLAND FOR THE TERTIARY COMMUNITY HOUSING WASTEWATER TREATMENT. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, THESIS COADVISOR: ASSIS. PROF. DR. CHAVALIT RATANATAMSKUL, 137 pp. ISBN 974-17-5576-7.

This research was conducted to use subsurface-flow constructed wetlands treating community housing wastewater. Three gravel bed constructed wetlands were used for comparing the treatment efficiency of the planted system and the unplanted system, and studying the effect of hydraulic retention times on the treatment efficiency at three hydraulic retention times; 1, 2 and 3 d (or at hydraulic loading rates; 10.78, 5.43 and 3.62 cm./d respectively). Two type of plants, heliconias (*Heliconia psittacorum* cv 'Lady Di') and red gingers (*Alpinia purpurata*), were planted in each system while unplanted system was a controlled unit. Each unit was fed by the mixed wastewater which consists of the urine and the secondary effluents. The experimental results revealed that the treatment efficiency inverted with hydraulic retention times. In the other hands, growth rates of plants did not depend on hydraulic retention times. The planted system gave better in the treatment efficiency than the unplanted system. The heliconia planted system and the red ginger planted system had no differences in the treatment efficiency. However, the treatment efficiency of the heliconia planted constructed wetland at 3 d hydraulic retention time was the most effective treatability while the treatment efficiency of BOD, COD, total solid, total Kjeldahl nitrogen, nitrite-nitrogen, nitrate-nitrogen, total phosphorus and fecal coliform were 90.19%, 78.45%, 26.13%, 93.88%, 71.60%, 72.59%, 77.39% and 99.99% respectively.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Inter-Department Student's signature .....

Field of study Environmental Science Advisor's signature .....

Academic year 2003 Co-advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล ที่ได้ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาของการทำวิจัยครั้งนี้ รวมทั้ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง และ อาจารย์ ดร. เขมรัฐ โอสถาพันธุ์ คณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้กล่าวนามมาข้างต้นไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการในการวิจัย

ขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อนๆ ที่คอยให้คำปรึกษาและกำลังใจในการทำวิจัย จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขที่ได้สนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญตาราง.....ช

สารบัญภาพ.....ฌ

บทที่

1. บทนำ.....1
2. ทบทวนเอกสาร.....4
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....32
4. ผลการทดลอง.....41
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....87

รายการอ้างอิง.....89

ภาคผนวก.....95

ภาคผนวก ก.....96

ภาคผนวก ข.....100

ภาคผนวก ค.....102

ภาคผนวก ง.....127

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....137

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 อัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน....5
2.2 ลักษณะของน้ำเสียจากบ้านพักอาศัย....6
2.3 หน้าที่ของพืชโผล่พ้นน้ำในระบบบึงประดิษฐ์....20
2.4 กลไกการบำบัดสารปนเปื้อนในน้ำเสีย....21
2.5 เกณฑ์ในการออกแบบบึงประดิษฐ์....25
3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ....39
3.2 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ....40
4.1 ลักษณะของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดโดยระบบถังเกรอะ–กรองไร้อากาศ....42
4.2 ลักษณะของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบทดลอง....42
4.3 ลักษณะของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืช....58
4.4 ลักษณะของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษา....61
4.5 ลักษณะของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดง....64
4.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการปลูกพืชต่างกัน....82
4.7 การเปรียบเทียบลักษณะของน้ำทิ้งจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการปลูกพืชต่างกัน....82
4.8 ค่าลงทุนก่อสร้างระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน....85
4.9 ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน....85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 ขั้นตอนการบำบัดของระบบถังเกรอะ-กรองไร้อากาศ....9
2.2 ถังเกรอะ-กรองไร้อากาศ....10
2.3 ต้นธรรมรักษา (*Heliconia psittacorum* cv 'Lady Di')....11
2.4 ลักษณะของต้นธรรมรักษา (*Heliconia* sp.)....11
2.5 ลักษณะช่อดอกของธรรมรักษา (*Heliconia psittacorum*)....12
2.6 ลักษณะดอกจริงของธรรมรักษา (*Heliconia* sp.)....13
2.7 ลักษณะผลของธรรมรักษา (*Heliconia* sp.)....13
2.8 ต้นขิงแดง (*Alpinia purpurata*)....15
2.9 ช่อดอกของขิงแดง (*Alpinia purpurata*)....15
2.10 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือผิวดิน....18
2.11 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวดิ่ง....18
2.12 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน....18
2.13 Passive Diffusion ของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทนในพืช....24
2.14 กลไกการพาของก๊าซในพืช....25
3.1 ลักษณะของชุดการทดลอง....32
3.2 ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการทดลอง....34
3.3 บ่อของระบบบึงประดิษฐ์....35
3.4 องค์ประกอบในบึงประดิษฐ์....35
3.5 ตำแหน่งของพืชในบึงประดิษฐ์....35
4.1 พีเอชของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์....48
4.2 อุณหภูมิของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์....49
4.3 บีโอดีของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์....50
4.4 ซีโอดีของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์....51
4.5 ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์....52
4.6 ปริมาณทีเคเอ็นของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์....53
4.7 ปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์....54
4.8 ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์....55
4.9 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์....56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

4.10 ลอการิทึมของค่าฟีคัลโคลิฟอร์มของน้ำเข้าและน้ำออก
ของระบบบึงประดิษฐ์.....57
4.11 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืช.....58
4.12 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษา.....61
4.13 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดง.....64
4.14 อัตราความสูงที่เพิ่มขึ้นของต้นธรรมรักษา.....68
4.15 อัตราจำนวนใบที่เพิ่มขึ้นของต้นธรรมรักษา.....68
4.16 อัตราจำนวนดอกที่เพิ่มขึ้นของต้นธรรมรักษา.....68
4.17 อัตราจำนวนหน่อที่เพิ่มขึ้นของต้นธรรมรักษา.....69
4.18 อัตราความสูงที่เพิ่มขึ้นของต้นขิงแดง.....71
4.19 อัตราจำนวนใบที่เพิ่มขึ้นของต้นขิงแดง.....71
4.20 อัตราจำนวนดอกที่เพิ่มขึ้นของต้นขิงแดง.....71
4.21 อัตราจำนวนหน่อที่เพิ่มขึ้นของต้นขิงแดง.....72
4.22 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์.....73
4.23 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์.....74
4.24 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์.....75
4.25 ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์.....76
4.26 ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรต์ไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์.....77
4.27 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์.....79
4.28 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์.....80
4.29 ประสิทธิภาพการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มของระบบบึงประดิษฐ์.....81
4.30 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน.....83
4.31 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนภายในระบบบึงประดิษฐ์
ที่ไม่มีการปลูกพืช.....84
4.32 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนภายในระบบบึงประดิษฐ์
ที่ปลูกต้นธรรมรักษา.....84
4.33 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนภายในระบบบึงประดิษฐ์
ที่ปลูกต้นขิงแดง.....84

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ปัจจุบันการพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศ มีการนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้และก่อให้เกิดปัญหามลภาวะตามมา โดยเฉพาะการใช้ทรัพยากรน้ำ นอกจากนี้ในภาคกลางปัญหาคุณภาพน้ำเกิดจากการขยายตัวของชุมชน ทำให้มีปริมาณของเสียที่เกิดจากชุมชนในปริมาณมาก อีกทั้งของเสียและน้ำเสียดังกล่าวถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่มีการควบคุมอย่างเหมาะสม ทำให้คุณภาพน้ำในแม่น้ำเสื่อมโทรมลง และเกิดความเสียหายต่อการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ ก่อให้เกิดผลกระทบหลายประการเช่น ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน ผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ เป็นต้น

จากการติดตามตรวจสอบคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินปี 2544 โดยกรมควบคุมมลพิษพบว่าแม่น้ำเจ้าพระยาตอนกลาง (วัดเฉลิมพระเกียรติ อ.เมือง จ.นนทบุรี – ป้อมเพชร อ.เมือง จ.พระนครศรีอยุธยา) มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ต่ำ มีปริมาณออกซิเจนละลาย 4.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีโอดี 1.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟีคัลโคลิฟอร์ม 13,800 MPN/100 มิลลิลิตร ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดขึ้นควรได้รับการปรับปรุงคุณภาพของน้ำเสีย ให้อยู่ในสภาพที่สามารถปล่อยสู่ธรรมชาติได้อย่างปลอดภัย ดังนั้นน้ำเสียชุมชนที่ปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ จึงควรได้รับการบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพก่อนมีการปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำ

ระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์เป็นกระบวนการบำบัดทางชีวภาพวิธีหนึ่งที่ได้รับการออกแบบขึ้นเพื่อเอาชนะข้อด้อยต่างๆของพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ แต่ยังคงบทบาทและคุณลักษณะพิเศษของพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสียไว้อยู่ (Koottathep and Polprasert, 1997) ดังนั้นจึงสามารถนำคุณลักษณะของระบบบึงประดิษฐ์มาปรับใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้เป็นอย่างดี (Hofmann, 1997) เนื่องจากระบบบึงประดิษฐ์นั้นเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูง ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง การเดินระบบและการดูแลรักษาต่ำ เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำเสียในชุมชนขนาดเล็ก (Lekven, 1993)

นอกจากนี้การบำบัดน้ำเสียให้ได้มาตรฐานนั้นอาจต้องอาศัยวิธีบำบัดขั้นสูง เนื่องจากปัจจุบันการบำบัดน้ำเสียขั้นที่หนึ่งหรือสองที่นิยมใช้กันนั้นยังไม่สามารถลดสารปนเปื้อนในน้ำเสียให้เหลือในปริมาณที่ต้องการได้ ดังนั้นการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดขั้นที่สามจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่น่าสนใจ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเป็นระบบบำบัดขั้นที่สามในการบำบัดน้ำเสียชุมชน
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนของระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่ปลูกต้นธรรมรักษาและต้นขิงแดง
3. เพื่อศึกษาผลของระยะเวลากักเก็บน้ำในระบบที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนของระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่ปลูกต้นธรรมรักษาและต้นขิงแดง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. พื้นที่ที่ทำการศึกษาตั้งอยู่หมู่ที่ 6 ตำบลเกาะเรียน อำเภอเมืองพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
2. ในการศึกษาทดลองนี้ ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน โดยใช้บ่อซีเมนต์วงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.75 เมตร สูง 0.35 เมตร จำนวน 3 บ่อต่อกันเป็นอนุกรม ตัวกลางในระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการศึกษาคือ กรวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 – 5 มิลลิเมตร
3. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง เป็นน้ำเสียจากถังแยกปัสสาวะแล้วนำมาผสมกับน้ำเสียจากบ้านเรือนที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองจากระบบถังเกรอะ-กรองไร้อากาศ และผ่านการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนแล้ว
4. ศึกษาการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในระบบ 2 ชนิด ได้แก่ ธรรมรักษา (*Heliconia psittacorum* cv ‘Lady Di’) และ ขิงแดง (*Alpinia purpurata*)
5. ทำการศึกษาโดยปรับเปลี่ยนระยะเวลากักเก็บน้ำในระบบ 3 ค่า คือ 1 2 และ 3 วัน
6. วิเคราะห์ตัวแปรต่างๆจากน้ำเข้าระบบ น้ำออกจากระบบและระยะต่างๆในระบบบำบัด ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ บีโอดี ของแข็งทั้งหมด ทีเคเอ็น ไนไตรต์ไนโตรเจน ไนเตรตไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์ม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ออกแบบและควบคุมการบำบัดน้ำเสียชุมชนขั้นที่สาม โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน
2. ได้ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของบึงประดิษฐ์ เพื่อนำไปปรับปรุงและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 น้ำเสีย (Wastewater)

น้ำเสีย (Wastewater) หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่างๆมากมายจนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการและน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์อีก หรือถ้าปล่อยลงสู่ลำน้ำธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพน้ำธรรมชาติเสียหายได้ น้ำเสียจะมีส่วนประกอบที่เป็นสิ่งสกปรกต่างๆเจือปนอยู่ในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ลักษณะของสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้ประโยชน์ของน้ำ ทำให้น้ำเสียที่เกิดจากแต่ละแหล่งมีลักษณะที่แตกต่างกัน

2.1.1 ประเภทของน้ำเสีย

น้ำเสียสามารถแบ่งประเภทตามแหล่งกำเนิดได้ 4 ประเภท ได้แก่ น้ำเสียจากแหล่งชุมชน(Domestic Wastewater) น้ำเสียจากแหล่งอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater) น้ำเสียจากการเกษตรกรรม (Agricultural Wastewater) น้ำเสียที่เกิดจากน้ำฝน (Storm Sewage) ในที่นี้จะกล่าวถึงน้ำเสียจากชุมชนเท่านั้น

น้ำเสียจากแหล่งชุมชน (Domestic Wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชนและกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือน และอาคารประเภทต่าง ๆ เป็นต้น

2.1.2 ปริมาณและลักษณะสมบัติน้ำเสีย (Wastewater Quantity and Charcteristics)

สิ่งสำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณาเกี่ยวกับปัญหาน้ำเสีย ด้านระดับความรุนแรงของปัญหาเพื่อจัดให้มีระบบบำบัดน้ำเสียนั้น คือปริมาณและลักษณะของน้ำเสีย

ปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยทิ้งจากบ้านเรือน อาคาร จะมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้ หรืออาจประเมินได้จากจำนวนประชากรหรือพื้นที่อาคาร ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2538)

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

น้ำเสียที่เกิดจากบ้านพักอาศัยประกอบไปด้วย น้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน ซึ่งมีองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

1. สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษอาหารต่างๆที่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ระดับออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ลดลง เกิดสภาพเน่าเหม็นได้ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมวัดด้วยค่าบีโอดี (BOD) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสูง แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มากและสภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย

2. สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆที่อาจไม่ทำให้น้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น คลอไรด์ ซัลเฟอร์ เป็นต้น

3. โลหะหนักและสารพิษที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์และสามารถสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหารจนเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ปรอท โครเมียม ทองแดง ปกติจะอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับในเขตชุมชนอาจมีสารมลพิษนี้มาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านซุบโลหะ อู่ซ่อมรถ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น

4. น้ำมันและสารลอยน้ำต่างๆเป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสง และกีดขวางการกระจายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดสภาพไม่น่าดู

5. ของแข็ง เมื่อจมตัวสู่ก้นลำน้ำทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนที่ท้องน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน มีความขุ่นสูงและมีผลกระทบต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำ

6. สารก่อให้เกิดฟอง/สารซักฟอก ได้แก่ ผงซักฟอก สบู่ ฟองที่เกิดขึ้นจากสารเหล่านี้จะกีดกันการกระจายของออกซิเจนในอากาศสู่น้ำและอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

7. จุลินทรีย์ น้ำเสียจากโรงฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์ หรือโรงงานอาหารกระป๋องจะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต สามารถลดระดับของออกซิเจนละลายน้ำ ทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็น นอกจากนี้จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อประชาชน เช่น จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น

8. ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เมื่อมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วของสาหร่าย (Algae Bloom) ที่เป็นสาเหตุสำคัญทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลงต่ำมากในช่วงกลางคืน รวมทั้งเพิ่มปริมาณวัชพืชน้ำที่ก่อให้เกิดปัญหากีดขวางการสัญจรทางน้ำ

9. กลิ่นจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไร้อากาศหรือกลิ่นอื่นๆจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง เช่น โรงงานปลาป่น โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น

จากการสำรวจน้ำเสียชุมชน และปัญหามลภาวะทางน้ำในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (เดิม) พ.ศ. 2530 ได้รายงานลักษณะน้ำเสียจากชุมชนในประเทศไทย ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของน้ำเสียจากบ้านพักอาศัย (กรมควบคุมมลพิษ, 2538)

สิ่งปะปน (มิลลิกรัม/ลิตร)	น้ำเสียจากส้วม	จากห้องอาบน้ำ		จากการซักผ้า		จากครัว	
		ตักอาบ	ฝักบัว	ด้วยมือ	เครื่อง	ผ่านตะแกรง	ไม่ผ่าน
พีเอช (ไม่มีหน่วย)	7.7	7.1	7.0	7.2	7.7	7.2	6.3
ซีโอดี	1,500	230	400	200	460	960	2,900
บีโอดี	700	120	260	70	150	540	1,800
ไนโตรเจน	300	8	38	14	12	18	120
ฟอสเฟต	24	6	1	10	24	13	90
ของแข็งแขวนลอย	560	45	80	60	55	210	1,200
น้ำมัน และไขมัน	540	400	480	500	520	500	2,700

2.1.3 การบำบัดน้ำเสีย

การเลือกระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ลักษณะของน้ำเสีย ระดับการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการ สภาพทั่วไปของท้องถิ่น ค่าลงทุนก่อสร้าง ดำเนินการดูแลและบำรุงรักษา และขนาดของที่ดินที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เลือกมีความเหมาะสมกับแต่ละท้องถิ่นซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

2.1.3.1 ระบบบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้ตามกลไกที่ใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียดังนี้

(1) การบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment) เป็นวิธีการแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสีย เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ กระดาษ พลาสติก เศษอาหาร กรวด ทราย ไขมันและน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดทางกายภาพ คือตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังตกตะกอน โดยจะเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก

(2) การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมีเพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้จะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ ค่าพีเอชสูงหรือต่ำเกินไป สารพิษ โลหะหนัก ของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก ไขมันและน้ำมันที่ละลายน้ำ ไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสระดับที่สูงเกินไป และเชื้อโรค ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตกตะกอน ถังกรอง และถังฆ่าเชื้อโรค

(3) การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment) เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย โดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์เพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Organisms) หรือแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Organisms) ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activate Sludge, AS) ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor, RBC) ระบบคลองวนเวียน(Oxidation Ditch, OD) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon, AL) ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Stabilization Pond) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) และระบบกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter, AF) เป็นต้น

2.1.3.2 การแบ่งประเภทของการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยขั้นตอนเป็นหลัก สามารถแบ่งได้ดังนี้

(1) การบำบัดขั้นต้น (Preliminary Treatment) และการบำบัดเบื้องต้น (Primary Treatment) เป็นการบำบัดเพื่อแยกทราย กรวด และของแข็งขนาดใหญ่ออกจากของเหลวหรือน้ำเสีย โดยเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย ตะแกรงหยาบ (Coarse Screen) ตะแกรงละเอียด (Fine Screen) ถังดักกรวดทราย (Grit Chamber) ถังตกตะกอนเบื้องต้น (Primary Sedimentation Tank) และเครื่องกำจัดไขฝ้า (Skimming Devices) การบำบัดน้ำเสียขั้นนี้สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 50 - 70 และกำจัดสารอินทรีย์ซึ่งวัดในรูปของบีโอดีได้ร้อยละ 25 – 40

(2) การบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) เป็นการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นและการบำบัดเบื้องต้นมาแล้ว แต่ยังคงมีของแข็งแขวนลอยขนาดเล็กและสารอินทรีย์ทั้งที่ละลายและไม่ละลายในน้ำเสียเหลือค้างอยู่ โดยทั่วไปการบำบัดขั้นที่สองหรือเรียกอีกอย่างว่าการบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment) จะอาศัยหลักการเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบภายใต้สภาวะที่สามารถควบคุมได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำทิ้งโดยใช้ถังตกตะกอน (Secondary Sedimentation Tank) ทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดีขึ้น จากนั้นจึงผ่านเข้าระบบฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคปนเปื้อน ก่อนจะระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ หรือนำกลับไปใช้ประโยชน์ (Reuse) การบำบัดน้ำเสียในขั้นนี้สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์ซึ่งวัดในรูปของบีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 80

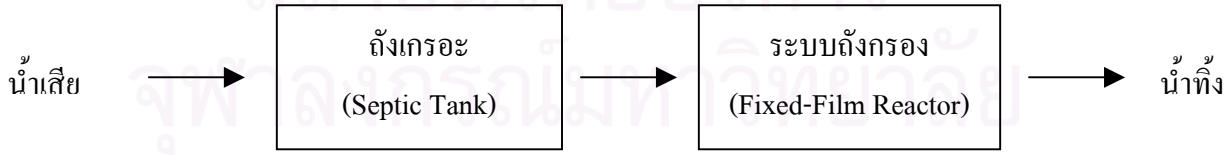
(3) การบำบัดขั้นสูง (Advance Treatment หรือ Tertiary Treatment) เป็นกระบวนการกำจัดสารอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) สี สารแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก และอื่นๆที่ยังไม่ได้กำจัดโดยกระบวนการบำบัดขั้นที่สอง ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดียิ่งขึ้นเพียงพอที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ได้ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการเติบโตผิดปกติของสาหร่ายที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดน้ำเน่า แก้ไขปัญหาความน่ารังเกียจของแหล่งน้ำอันเนื่องจากสี และแก้ไขปัญหาอื่นๆที่ระบบบำบัดขั้นที่สองไม่สามารถกำจัดได้ กระบวนการบำบัดขั้นสูงดังกล่าวนี้ ได้แก่ การกำจัดฟอสฟอรัส การกำจัดไนโตรเจน การกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจนร่วมกัน การกรอง (Filtration) การดูดติดผิว (Adsorption)

2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังเกรอะ-กรองไร้อากาศ

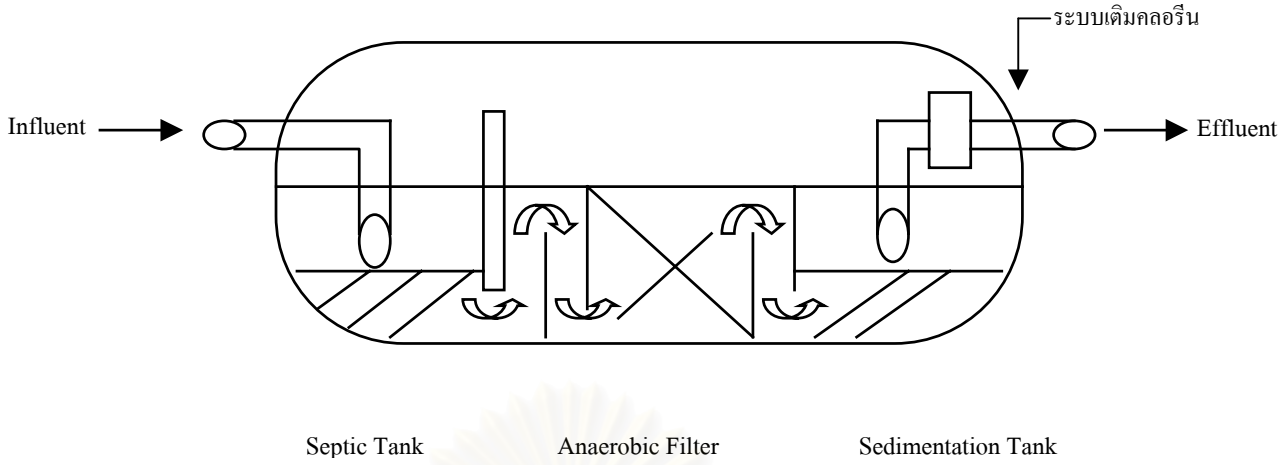
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่ต้องเติมอากาศ ระบบนี้เริ่มนิยมใช้กันแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากเป็นระบบที่ประหยัดพลังงานที่ใช้ในการเติมอากาศและได้พลังงาน คือ ก๊าซมีเทน (Methane Gas, CH_4) เป็นต้น ในปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปแบบของถังปฏิกิริยาขึ้นมา จนสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) ต่ำๆได้ สารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำเสียถูกกำจัดหรือย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน จุลินทรีย์ที่เกาะติดกับตัวกลางและอยู่ระหว่างช่องของตัวกลางในระบบจะทำหน้าที่ย่อยสลายอินทรียวัตถุด้วยกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การดูดซับ การกรอง และปฏิกิริยาการย่อยสลายชีวเคมี ระบบนี้จะใช้เวลากักเก็บของน้ำเสีย 1 – 10 วัน โดยรับค่าซีโอดีของน้ำเสียได้ 4 – 16 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวกลางที่ใช้ควรเป็นพวกที่ไม่ย่อยสลายได้โดยทางธรรมชาติ ได้แก่ ก้อนหิน พลาสติก อิฐ กระเบื้อง เป็นต้น โดยตัวกลางที่เป็นกระเบื้องจะมีประสิทธิภาพการบำบัดค่อนข้างดีเพราะมีพื้นที่ผิวขรุขระมาก สามารถ มีจำนวนตะกอนจุลินทรีย์มาก ถังกรองไร้ออกซิเจนแบบไหลขึ้น ส่วนใหญ่จะใช้ตัวกลางที่มีขนาด 20 – 170 มิลลิเมตร ถ้าใช้ก้อนหินหรือลูกบอลพลาสติกขนาด 20 มิลลิเมตร จะมีช่องว่างประมาณร้อยละ 40 (เกรียงศักดิ์, 2543)

2.2.1 ลักษณะของระบบ

ลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 1 และ 2 ก่อนเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์เป็นดังรูปที่ 2.1 และ 2.2 มีค่าอัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ค่าบีโอดีของน้ำเสีย 250 มิลลิกรัมต่อลิตร และภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.25 กิโลกรัม – บีโอดี/วัน โดยระบบบำบัดน้ำเสียจะมีการเติมคลอรีนเพื่อกำจัดเชื้อโรค



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการบำบัดของระบบถังเกรอะ-กรองไร้อากาศ



รูปที่ 2.2 ถังเกรอะ-กรองไร้อากาศ

2.3 ธรรมรักษา

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Heliconia psittacorum* cv 'Lady Di'

ชื่อสามัญ : Heliconia

ชื่ออื่นๆ : เลดี้ได (ชื่อไทย), Matchstick (ฟลอริดา)

วงศ์ (Family) : Heliconiaceae

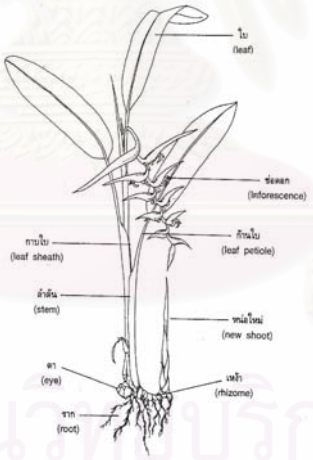
ถิ่นกำเนิด :ไม่ทราบถิ่นกำเนิดแน่นอน ปลูกกันมากที่ฮาวาย ฟลอริดา คอสตาริก และเกาะบาร์เบโดส

ธรรมรักษาเป็นไม้ดอกที่มีความสวยงามหลากหลายทั้งด้านรูปทรงและสี เจริญเติบโตเร็ว มีอยู่ประมาณ 200-250 ชนิด เป็นพันธุ์ไม้ที่เจริญเติบโตได้ทั่วไปในทุกพื้นที่ แม้แต่บริเวณริมน้ำหรือพื้นที่ชื้นแฉะ มีปลูกเลี้ยงในประเทศไทยมาเป็นเวลานานแล้ว เป็นที่รู้จักในชื่อ ก้ามกุ้ง ก้ามกั้ง ก้ามปู ธรรมรักษา สร้อยกัทลี หรือบันไดสวรรค์ ปัจจุบันมีการปลูกเป็นการค้าเพื่อตัดดอกมากขึ้น เนื่องจากปลูกง่าย มีดอกที่สวยงามและคงทน มีสี ขนาด และรูปทรงช่อดอกมากมาย มีปัญหาเกี่ยวกับโรคและแมลงน้อย เจริญเติบโตรวดเร็วและออกดอกตลอดปี นิยมนำมาประดับจัดสวน ปลูกเป็นกอขนาดใหญ่ในพื้นที่กว้าง ปลูกเป็นไม้ตัดดอก รวมทั้งปลูกเป็นไม้กระถางประดับตกแต่งภายในอาคาร

2.3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

2.3.1.1 ต้น ธรรมรักษาเป็นไม้อวบน้ำยืนต้น (Herbaceous Peranial) สูงไม่เกิน 2 เมตร มีลักษณะดังรูปที่ 2.3 ลำต้นเหนือดินแต่ละต้นเกิดจากกาบใบที่ซ้อนเกยกันแน่น ดูเสมือนเป็นลำต้น เรียกว่า ลำต้นเทียม (Psuedostem) ประกอบด้วยกาบใบ (Leaf Sheath) วางซ้อนสลับไปมา ส่วนลำต้นที่แท้จริงทอดเลื้อยอยู่ใต้ดินเรียกว่าเหง้า (Rhizome) มีศักยภาพในการสร้างหน่อหรือเหง้าใหม่ได้ 2 หน่อ โดยหน่อใหม่จะแตกจากตาส่วนบนของเหง้าเดิม (1 – 2 หน่อ) ขนานกับผิวดินดังรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.3 ต้นธรรมรักษา (*Heliconia psittacorum* cv 'Lady Di') (กรมส่งเสริมการเกษตร, 1998)



รูปที่ 2.4 ลักษณะของต้นธรรมรักษา (*Heliconia* sp.) (วชิรพงศ์, 2538)

2.3.1.2 ใบ ประกอบด้วย แผ่นใบ (Blade) และก้านใบ (Petiole) โดยใบจะเรียงสลับตรงกันข้าม (Alternate) เป็น 2 แถว ในระนาบเดียวกัน (Distichous) แผ่นใบของธรรมรักษาส่วนมากมีขนาดใหญ่ สีเขียวคล้ายใบกล้วย ลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขอบใบขนานกันหรือเกือบขนาน ปลายใบแหลม โคนใบทั้งสองข้างมักไม่เท่ากัน เส้นกลางใบหนาและมีเส้นใบย่อยเรียงขนานกันเป็นจำนวนมาก ใบอ่อนม้วน

2.3.1.3 ดอก ช่อดอกมีลักษณะดังรูปที่ 2.5 เป็นช่อตั้ง (Erect) มักแทงออกกลางลำต้นเทียม เป็นส่วนสุดท้ายของการเจริญ ส่วนของช่อดอกประกอบด้วย

- ก้านช่อดอก (Peduncle) เป็นส่วนต่อระหว่างโคนใบสุดท้ายกับโคนกลีบประดับกลีบแรก มีสีชมพูอ่อนถึงสีแดง

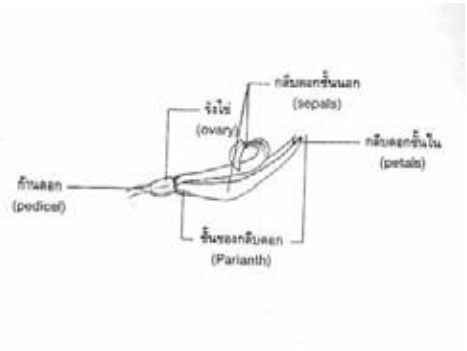
- กลีบประดับ (Inflorescence Bract, Cincinal Bract) เป็นส่วนที่พัฒนามาจากใบ มีจำนวน 5 - 8 อัน สีแดงถึงสีแดงเข้ม ทางด้านโคนจะมีสีอ่อนกว่า

- ก้านต่อระหว่างกลีบประดับ (Rachis) ส่วนนี้อาจมีสีและผิวแตกต่างจากกลีบประดับ มีลักษณะตรงหรือคดไปมาแล้วแต่ชนิด

ภายในกลีบประดับมีดอกจริงเป็นดอกสมบูรณ์เพศ (Hermaphroditic) ดังรูปที่ 2.5 มีสีเหลืองอ่อน ปลายกลีบดอกมีแถบสีเขียวเข้มคาด ปลายสุดสีขาว ชั้นของกลีบดอก (Parianth) ประกอบด้วย กลีบดอกชั้นใน (Inner Petals) และกลีบดอกชั้นนอก (Outer Sepals) ชั้นละ 3 กลีบ ส่วนโคนของกลีบดอกทั้ง 2 ชั้นเชื่อมติดกันคล้ายหลอด ดอกย่อย 1 ดอกภายในมีเกสรตัวผู้ 6 อัน โดยที่เกสรหนึ่งเป็นหมัน ส่วนรังไข่อยู่ใต้กลีบเลี้ยงและกลีบดอกมีสีเหลือง บางครั้งโคนเป็นสีครีม ภายในมี 3 ช่อง เมื่อต้นธรรมรักษาโตเต็มที่จะมีศักยภาพในการสร้างช่อดอก 1 ช่อ

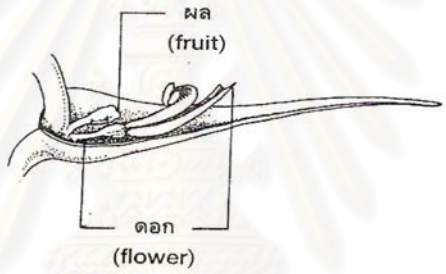
รูปที่ 2.5 ลักษณะช่อดอกของต้นธรรมรักษา (*Heliconia psittacorum*) (วชิรพงศ์, 2538)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.6 ลักษณะดอกจริงของธรรมรักษา (*Heliconia* sp.) (วชิรพงศ์, 2538)

2.3.1.4 ผล เป็นแบบ Drupe ลักษณะคล้ายผลท้อ ดังรูปที่ 2.7 มีเนื้อนุ่ม ภายในมีเมล็ด 1-3 เมล็ด และมีชั้นหุ้มเมล็ดที่แข็ง ผลมีหลายสีต่างกันไป โดยผลสุกที่พบในทวีปอเมริกาจะมีสีน้ำเงิน และมีสีส้มในชนิดที่พบในหมู่เกาะแปซิฟิก



รูปที่ 2.7 ลักษณะผลของธรรมรักษา (*Heliconia* sp.) (วชิรพงศ์, 2538)

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต

2.3.2.1 แสง ธรรมรักษาเป็นพืชที่ไวต่อแสงมาก ปริมาณแสงจึงมีผลต่ออัตราการเจริญ เติบโต ปริมาณการให้ดอก ช่วงเวลาออกดอกและคุณภาพสีของช่อดอก สามารถเจริญได้ดีทั้งใน ที่ร่ม รำไรและกลางแจ้ง สามารถออกดอกได้ตลอดปีโดยไม่ขึ้นกับความยาวของวัน ส่วนมาก ธรรมรักษาชนิดดอกเล็กสามารถทนแสงได้ดีกว่าชนิดที่มีดอกใหญ่มีการศึกษาพบว่า *H.psittacorum* จะมีจำนวนช่อดอกจะน้อยลงเมื่อได้รับแสงที่มีความเข้มลดลง

2.3.2.2 อุณหภูมิ อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะกระตุ้นการเจริญของดอกเร็วขึ้น อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ *H.psittacorum* ประมาณ 21 – 35 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่า *H.psittacorum* จะหยุดการเจริญหรือไม่เจริญตามปกติถ้าได้รับอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส ต้นธรรมรักษาจะเน่าถึงโคน (Die Back) และอาจตายได้

2.3.2.3 น้ำ ปริมาณน้ำมีผลต่อคุณภาพสีและขนาดของช่อดอก ต้นธรรมรักษาเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีน้ำมากและระบายน้ำได้ดี ถ้าได้รับน้ำไม่เพียงพอและสม่ำเสมอ ช่อดอกจะมีขนาดเล็กลง สีสันไม่สดใส

2.3.2.4 วัสดุปลูก ต้นธรรมรักษาเจริญได้ดีในดินที่มีอินทรียวัตถุสูง มีความเป็นกรดด่าง 5.4 – 6.2 และมีการระบายน้ำที่ดี

2.3.3 การให้ดอกและการตัดดอก

ธรรมรักษา สามารถให้ดอกได้ภายในเวลา 8 - 10 สัปดาห์หลังปลูก ประมาณ 50,000 ดอกต่อไร่ ธรรมรักษาจะมีราคารับซื้อที่สวนประมาณดอกละ 10 บาท เมื่อนำมาขายที่ตลาดปากคลองตลาด จะมีราคาสูงขึ้นประมาณดอกละ 30 - 50 บาท

2.4 ขิงแดง

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Alpinia purpurata*

ชื่อสามัญ : Red ginger

วงศ์ (Family) : Zingiberaceae

ถิ่นกำเนิด : ประเทศนิวคาลีโดเนีย หมู่เกาะโซโลมอน ประเทศวานาวาตู และพบตั้งแต่ระดับน้ำทะเล จนถึง 650 เมตร

ขิงแดงเป็นพืชที่มีการปลูกประดับบ้านเรือนมานานแล้ว มีการดูแลรักษาง่าย สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินทั่วไปและให้ดอกตลอดปี นอกจากนี้ขิงแดงยังมีช่อดอกที่สวยงาม คงทน และมีรูปทรงของดอกที่แปลกตา ดังรูปที่ 2.8 ประกอบกับมีอายุการปักแจกันที่เหมาะสม เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ทำให้ขิงแดงมีการพัฒนาจากการปลูกเป็นไม้ประดับบริเวณบ้านมาเป็นการปลูกเพื่อตัดดอกเป็นการค้ามากขึ้น

2.4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

2.4.1.1 ต้น ขิงแดงมีลำต้นใต้ดินเรียกว่าเหง้า (Rhizome) ทำหน้าที่สะสมอาหาร มีขนาดสั้น แตกสาขาทอดขนานไปกับผิว มีสีแดงและมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1-1.5 ซ.ม. ส่วนลำต้นเหนือดินคือ ลำต้นเทียม (Pseudostem) เกิดจากกาบใบที่ห่อหุ้มกันอย่างซับซ้อน ปกติขิงแดงจะมีความสูง 1 - 1.5 เมตร

2.4.1.2 ใบ เจริญออกมาจากก้านใบหรือกาบใบเป็นสองแถวในแนวเดียวกัน ลักษณะของใบเป็นรูปหอก บริเวณกลางใบกว้าง ปลายใบเรียวและฐานใบไม่มีก้านใบ เส้นกลางใบปรากฏชัดทางด้านล่างของใบ เส้นใบขนานกันเป็นแนวเหมือนกับใบกล้วย ผิวใบเกลี้ยงทั้งด้านบนและด้านล่าง ขนาดยาว 20-30 ซม. และกว้าง 5-8 ซม.

2.4.1.3 ดอก ช่อดอกเป็นช่อตั้ง มักจะแทงออกตามยอดของก้านใบ ยาวประมาณ 30 ซม. ประกอบด้วยกลีบประดับสีแดงสด รูปไข่ ปลายแหลม ขนาดยาว 3-4 ซม. และกว้าง 1.5-2.5 ซม. เรียงซ้อนกันคล้ายเกล็ดปลา ดอกแท้เป็นรูปกรวยสีขาวขนาดเล็ก ยาว 1 นิ้ว อยู่ภายในกลีบประดับ และจะออกดอกตลอดทั้งปี ช่อดอกของขิงแดงมีลักษณะดังรูปที่ 2.9

2.4.1.4 ผล ผลของขิงแดง มีลักษณะคล้ายแคบซูล ผิวสีแดง ขนาดยาวประมาณ 3 ซม.

2.4.1.5 เมล็ด มีสีดำความยาวประมาณ 3 มม. และมีเปลือกหุ้มเมล็ดแข็ง

รูปที่ 2.8 ต้นขิงแดง (*Alpinia purpurata*) (พวงเพ็ญ และวินัย, 1998)

รูปที่ 2.9 ช่อดอกของขิงแดง (*Alpinia purpurata*) (พวงเพ็ญ และวินัย, 1998)

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต

2.4.2.1 แสง ขิงแดงจะเจริญเติบโตและให้ดอกที่มีคุณภาพดีในบริเวณที่มีแสงประมาณร้อยละ 50-70

2.4.2.2 อุณหภูมิ ขิงแดงสามารถเจริญเติบโตได้ดีในอากาศร้อนชื้น อุณหภูมิประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส

2.4.2.3 น้ำ ขิงแดงต้องการน้ำปานกลาง

2.4.2.4 วัสดุปลูก ขิงแดงเจริญได้ดีในดินที่ร่วนซุย หรือดินปนทรายที่มีความชื้นสูง

2.4.3 การให้ดอกและการตัดดอก

เมื่อปลูกต้นขิงแดงเป็นระยะเวลา 8 เดือน จะเริ่มเห็นดอกขิงแดงขนาดเล็ก และเติบโตเป็นดอกขิงแดงที่สมบูรณ์ เมื่อปลูกเป็นระยะเวลา 18 เดือนขึ้นไป ขิงแดงจะมีราคารับซื้อที่สวนประมาณดอกละ 5 - 8 บาท เมื่อนำมาขายที่ตลาดปากคลองตลาด จะมีราคาสูงขึ้นประมาณดอกละ 10 - 20 บาท

2.5 บึงประดิษฐ์

บึงประดิษฐ์ คือ พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่เลียนแบบกลไกการบำบัดของเสียตามธรรมชาติ โดยอาศัยพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดิน รวมทั้งดินในการบำบัดสารปนเปื้อนในน้ำ

2.5.1 ประเภทของบึงประดิษฐ์

การจัดประเภทของบึงประดิษฐ์ สามารถแบ่งตามลักษณะการไหลของน้ำในบึงประดิษฐ์ได้ 2 ลักษณะ คือ

2.5.1.1 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือผิวดิน (Free Water Surface System, FWS)

บึงประดิษฐ์ลักษณะนี้ประกอบด้วยบ่อดินที่มีการปูพื้นล่างด้วยวัสดุกันซึม หรืออัดด้วยดินเหนียว เพื่อป้องกันการไหลซึม ระดับน้ำลึกประมาณ 0.1 – 0.6 เมตร การไหลของน้ำเสียมีลักษณะตามแนวยาว (Plug Flow) ผ่านผิวหน้าดินหรือตัวกลาง รวมทั้งต้นพืชและรากพืชที่เป็นกลไกสำคัญของการบำบัดน้ำเสียของระบบ แสดงดังรูปที่ 2.10 การเติมอากาศของระบบเกิดจากกลไกของพืช กระแสลม และกระบวนการสังเคราะห์แสง

2.5.1.2 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow System, SFS)

เป็นระบบที่มีลักษณะการไหลของน้ำผ่านชั้นตัวกลาง โดยควบคุมระดับน้ำให้มีระดับต่ำกว่าชั้นตัวกลางเล็กน้อย ตัวกลางที่ใช้ได้แก่ หินบด กรวด ดิน และทราย อาจใช้เพียงหนึ่งชนิดหรือใช้รวมกัน มีความหนาของชั้นตัวกลางน้อยกว่า 0.6 เมตร ระบบนี้อาศัยการเติมอากาศโดยพืชเป็นหลัก น้ำเสียจะถูกบำบัดเมื่อไหลผ่านตัวกลางและรากพืช ชั้นตัวกลางมีสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic) แต่จุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนจากรากพืชในการดำรงชีวิต

บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน สามารถแบ่งตามการไหลของน้ำได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

(1) บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวดิ่ง (Vertical Subsurface Flow)

น้ำเสียจะไหลผ่านชั้นตัวกลางในแนวดิ่งดังรูปที่ 2.11 การเติมอากาศของระบบจะถูกเติมเป็นช่วงๆ ทำให้เกิดสภาวะมีอากาศและไร้อากาศสลับกันในระบบ (Intermittent Loading) ลักษณะดังกล่าวเป็นตัวถ่ายเทออกซิเจนให้เพิ่มขึ้น

(2) บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน (Horizontal Subsurface Flow)

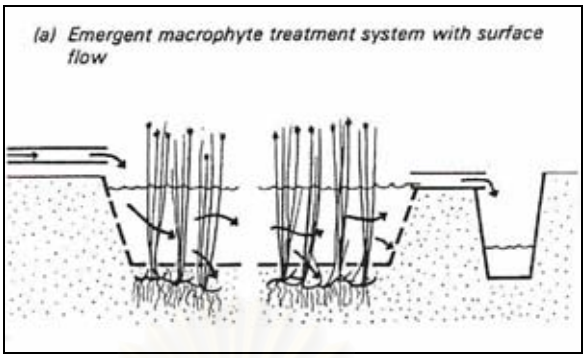
ระบบมีลักษณะเช่นเดียวกับบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวดิ่ง การไหลของน้ำเสียผ่านตัวกลางเป็นไปในแนวราบ ดังรูปที่ 2.12 การบำบัดน้ำเสียจะเกิดขึ้นในขณะที่ไหลผ่านตัวกลางและสัมผัสกับจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บริเวณรากพืช

2.5.2 องค์ประกอบของบึงประดิษฐ์

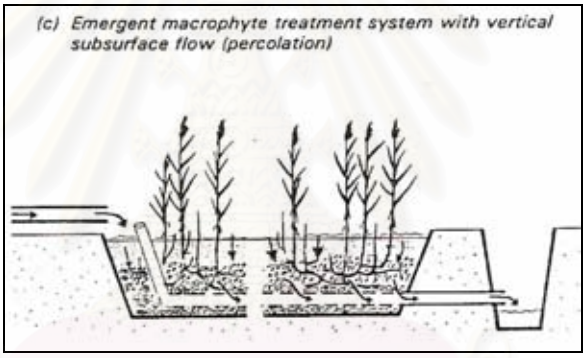
2.5.2.1 ชั้นของตัวกลาง (Substrate)

เป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อบทบาทของบึงประดิษฐ์ ตัวกลางที่ใช้ได้แก่ ดิน ทราย กรวด หรือหินบด เพียงชนิดใดชนิดหนึ่งหรือใช้ร่วมกันหลายชนิด ในระบบบึงประดิษฐ์ชั้นตัวกลางจะทำหน้าที่เป็นที่ยึดเกาะของพืชและจุลินทรีย์ เป็นช่องทางการไหลของน้ำ เป็นพื้นที่สำหรับการทำปฏิกิริยาของสารต่างๆ รวมทั้งเป็นบริเวณสำหรับเก็บสารเคมีบางอย่างไว้ในระบบอีกด้วย

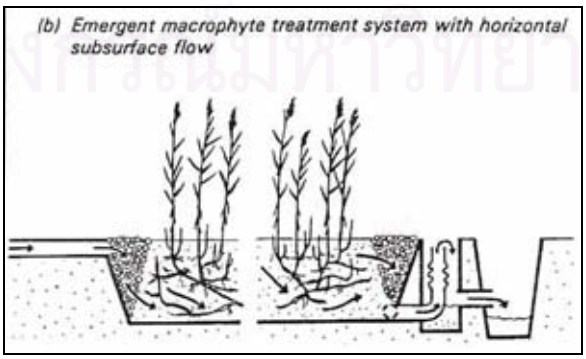
ลักษณะทางกายภาพของตัวกลางมีความสำคัญต่อการบำบัด กล่าวคือช่องว่างภายในชั้นตัวกลางจะมีผลต่อระยะเวลาสัมผัสระหว่างตัวกลางและน้ำ ถ้าตัวกลางมีขนาดใหญ่ ระยะเวลาสัมผัสของน้ำจะน้อยกว่าตัวกลางที่มีขนาดเล็ก ส่วนตัวกลางที่มีขนาดเล็กแม้ว่ามีระยะเวลาสัมผัสของน้ำมาก แต่รากพืชจะสามารถแทงผ่านตัวกลางได้ยาก นอกจากนี้ตัวกลางที่เหมาะสมควรจะไม่ก่อให้เกิดการอุดตันภายในระบบด้วย



รูปที่ 2.10 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือผิวดิน (Brix, 1993 a)



รูปที่ 2.11 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวดิ่ง (Brix, 1993 a)



รูปที่ 2.12 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน (Brix, 1993 a)

2.5.2.2 จุลินทรีย์ (Microorganism)

จุลินทรีย์ที่พบในบึงประดิษฐ์มีหลายชนิด ได้แก่ แบคทีเรีย รา สาหร่าย และโปรโตซัว แบคทีเรียสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลัก คือ แบคทีเรียชนิดแขวนลอย (Suspended Bacteria) ที่อาศัยอยู่บริเวณผิวหน้าของน้ำ และแบคทีเรียชนิดยึดติด (Attached–Growth Bacteria) ที่เจริญยึดติดกับส่วนของพืชที่อยู่ใต้น้ำคือราก โดยทำหน้าที่คล้ายกับในระบบโปรยกรอง กระบวนการต่างๆของแบคทีเรียภายในระบบจะเกิดขึ้นบริเวณส่วนของพืชที่จมน้ำ โดยจะช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันของสารต่างๆ

2.5.2.3 พืช (Macrophyte)

องค์ประกอบที่สำคัญและเห็นเด่นชัดในระบบบึงประดิษฐ์ ได้แก่ พืช โดยชนิดของพืชที่ใช้ในบึงประดิษฐ์มีหลายชนิด โดยแบ่งตามลักษณะของแหล่งที่อยู่ ดังนี้

(1) พืชใต้น้ำ (Submerged Plants) เป็นพืชที่เจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำทั้งหมด โดยอาจมีรากยึดเกาะกับพื้นใต้น้ำหรือไม่ยึดเกาะ บางชนิดมีส่วนของลำต้นและรากเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ บางชนิดมีเพียงส่วนของรากที่ยึดเกาะกับพื้นดินใต้น้ำ เช่น สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด เป็นต้น

(2) พืชโผล่เหนือน้ำ (Emerged Plants) พืชกลุ่มนี้มีการเจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำบางส่วนและเหนือน้ำบางส่วน โดยที่มีรากหรือรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ มีใบและดอกเจริญเหนือน้ำ เช่น บัวต่างๆ กกบางชนิด ต้นเทียนนา เป็นต้น

(3) พืชลอยน้ำ (Floating Plants) เป็นพืชที่เจริญลอยอยู่ที่ระดับน้ำ โดยมีรากลอยอยู่ในน้ำ ส่วนต้น ใบ และดอกจะเจริญบริเวณเหนือน้ำ ถ้าพืชกลุ่มนี้อยู่ในบริเวณที่มีน้ำตื้น อาจหยั่งรากจนถึงพื้นดินใต้น้ำได้ เช่น ผักตบชวา ผักบุ้ง เป็นต้น

(4) พืชชายน้ำ (Marginal Plants) พืชชนิดนี้มักขึ้นอยู่ตามชายน้ำ ริมตลิ่ง ชายคลอง หนองน้ำ สระน้ำ หรือทะเลสาบ ลักษณะโดยทั่วไปจะมีรากหรือรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดิน ส่วนของลำต้น ใบ และดอกจะอยู่เหนือน้ำ พืชประเภทนี้ใกล้เคียงกับพืชโผล่เหนือน้ำมาก เช่น ต้นผักตบไทย ต้นโสน กกบางชนิด เป็นต้น

พืชจะเจริญเติบโตโดยการสร้างใบและลำต้นให้สัมผัสอากาศ ส่วนรากจะเจริญและแผ่ขยายในชั้นตัวกลาง ออกซิเจนจากบรรยากาศจะถ่ายเทเข้าสู่พืช และเคลื่อนที่ลงไปสู่ราก ออกซิเจนบางส่วนจะถูกปลดปล่อยออกมาจากบริเวณราก ทำให้เกิดบริเวณแผ่นฟิล์มบางที่มีอากาศ

(Thin Film Aerobic Region) ที่มีผลให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและการดูดซับฟอสฟอรัสของตะกอนจึงเพิ่มสูงขึ้น โดยพืชในระบบบึงประดิษฐ์มีคุณสมบัติในการบำบัดน้ำเสีย ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 หน้าที่ของพืชโผล่พ้นน้ำในระบบบึงประดิษฐ์ (Brix, 1997)

ส่วนของพืช	บทบาทในการบำบัด
ส่วนที่อยู่เหนือน้ำ	1. ลดความเข้มของแสง เพื่อลดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช 2. ป้องกันอิทธิพลจากสภาพอากาศในฤดูหนาว 3. ลดความเร็วลม เพื่อป้องกันตะกอนแขวนลอย 4. ประโยชน์ด้านความสวยงาม 5. สะสมสารอาหาร
ส่วนที่อยู่ใต้น้ำ	1. ลดความเร็วของน้ำเพิ่มอัตราการตกตะกอนและลดการกระจายของตะกอนใต้น้ำ 2. กรองตะกอนขนาดใหญ่ 3. เป็นพื้นที่ผิวสำหรับจุลินทรีย์ยึดเกาะ 4. ปลดปล่อยออกซิเจน ทำให้การย่อยสลายโดยออกซิเจนเพิ่มขึ้น 5. ดูดซึมธาตุอาหาร
รากและระบบรากที่อยู่ในชั้นตะกอนใต้น้ำ	1. ผิวตะกอนใต้น้ำถูกกัดเซาะน้อย 2. ป้องกันการอุดตันในตัวกลางในระบบแบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวดิ่ง 3. ปล่อยออกซิเจนเพื่อเพิ่มการย่อยสลายและการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน 4. ดูดซึมธาตุอาหาร 5. ปล่อยสารปฏิชีวนะ

2.5.3 กลไกการบำบัด

กลไกการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์ประกอบด้วยกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยเกิดขึ้นอย่างอิสระจากกันหรือมีผลต่อเนื่องกัน กลไกการบำบัดสารปนเปื้อนของระบบบึงประดิษฐ์ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 กลไกการบำบัดสารปนเปื้อนในน้ำเสีย (Brix, 1993 a)

องค์ประกอบในน้ำเสีย	กลไกการบำบัด
ของแข็งแขวนลอย	- การตกตะกอน/การกรอง
บีโอดี	- การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (ที่ใช้และไม่ใช้อากาศ) - การตกตะกอน (การสะสมตัวของสารอินทรีย์บนผิวหน้าของตะกอน)
ไนโตรเจน	- ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันโดยจุลินทรีย์ - การดูดดึงโดยพืช - การระเหยของแอมโมเนีย
ฟอสฟอรัส	- การดูดซับโดยดิน (ปฏิกิริยาการดูดซับ-ตกตะกอนโดย อลูมิเนียม, เหล็ก, แคลเซียม และแร่ธาตุในดิน) - การดูดดึงโดยพืช
เชื้อก่อโรค	- การตกตะกอน/การกรอง - การตายตามธรรมชาติ - การตายโดยรังสีอัลตราไวโอเลต - การปลดปล่อยสารปฏิชีวนะจากรากพืช

2.5.3.1 การบำบัดสารอินทรีย์

บึงประดิษฐ์เป็นระบบที่สามารถใช้แหล่งคาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะเห็นได้จากการลดลงของค่าบีโอดีและซีโอดี สารอินทรีย์ส่วนที่เป็นของแข็งในน้ำเสียจะถูกบำบัด โดยการตกตะกอนและการกรองภายในชั้นตัวกลางในระบบบึงประดิษฐ์ สารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้จะจมลงสะสมอยู่ก้นบ่อ เกิดการย่อยสลายแล้วซึมลงดิน ส่วนสารอินทรีย์ที่ละลายได้จะถูกบำบัดโดยจุลินทรีย์ทั้งที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่มีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียคือ Heterotrophic Bacteria ที่ใช้คาร์บอนในสารอินทรีย์และมีอัตราย่อยสลายเร็ว การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในสภาวะมีออกซิเจน จะมีอัตราการย่อยสลายสูงกว่าในสภาวะไร้ออกซิเจนและได้ผลผลิตเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ โดยมีแหล่งออกซิเจนที่สำคัญ คือ การส่งผ่านจากรากพืชและบรรยากาศ ดังนั้นลักษณะการย่อยสลายของระบบจึงขึ้นอยู่กับความลึกของชั้นตัวกลางและความยาวของรากพืช ส่วนการดูดซึมสารอินทรีย์ของพืชถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกลไกอื่น

2.5.3.2 การบำบัดไนโตรเจน

สารประกอบไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบสำคัญในน้ำเสีย เนื่องจากทำให้เกิดยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ที่มีผลต่อการใช้ออกซิเจนในแหล่งน้ำและเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ดังนั้นการ

บำบัดไนโตรเจนจึงมีความสำคัญต่อระบบบำบัดน้ำเสีย สำหรับกลไกของการบำบัดไนโตรเจนโดยบึงประดิษฐ์มีหลายกลไกด้วยกัน ได้แก่ การดูดดึงโดยพืช การระเหยในรูปของแอมโมเนีย กระบวนการไนตริฟิเคชันและกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดยกลไกหลักของการบำบัดไนโตรเจน คือ ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน

ไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการออกซิเดชันทางชีวภาพของแอมโมเนียไปเป็นไนเตรต ที่เกิดในชั้นน้ำหรือชั้นดิน และบริเวณรากที่มีออกซิเจน ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันประกอบด้วยสองขั้นตอน ขั้นตอนแรก คือ การออกซิเดชันแอมโมเนียให้เป็นไนไตรต์โดยแบคทีเรียกลุ่ม Nitrosomonas และขั้นตอนที่สองที่เป็นการออกซิเดชันของไนไตรต์ไปเป็นไนเตรตโดยแบคทีเรียกลุ่ม Nitrobactor ทั้งสองปฏิกิริยานี้จะเกิดในสภาวะที่มีออกซิเจน แต่ก็สามารถเกิดได้ในบริเวณที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำเพียง 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (Reddy and Patrick, 1984) ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช สภาพด่างของน้ำ แหล่งอนินทรีย์คาร์บอน ความชื้น ปริมาณ Nitrifying Bacteria ความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนโตรเจน และปริมาณออกซิเจนละลาย โดยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในตัวกลาง คือ 30 – 40 องศาเซลเซียส (Vymazal, 1995) การเปลี่ยนรูปของไนไตรต์ไปเป็นไนเตรตจะถูกยับยั้งที่พีเอชสูง โดยพีเอชที่เหมาะสม คือ 6.6 – 8.0 ส่วนความชื้นและน้ำในตัวกลางมีผลต่อการเกิดไนเตรต ในสภาพที่มีน้ำขังจะจำกัดการซึมของออกซิเจนและลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Paul and Clark, 1996)

ดีไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการรีดักชันไนเตรตไปเป็นก๊าซไนโตรเจน โดยแบคทีเรียกลุ่ม Facultative ได้แก่ Bacillus Enterobactor Pseudomonas โดยจะเกิดในสภาวะขาดอากาศ (Anoxic) ที่เป็นสภาวะไม่มีออกซิเจนละลายน้ำหรือออกซิเจนอิสระอยู่ แต่ก็มีการศึกษาพบว่าในสภาวะที่มีออกซิเจนละลายน้ำต่ำก็สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช ชนิดของตัวกลาง ความชื้นในตัวกลาง ความเข้มข้นของไนเตรต ปริมาณ Denitrifying Bacteria การมีน้ำขัง Redox Potential และการขาดออกซิเจน (Vymazal, 1995) อุณหภูมิที่ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเกิดสูงสุดคือช่วง 60 – 75 องศาเซลเซียส พีเอชก็มีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันมากโดยพีเอชที่เหมาะสมคือ
6.0 – 8.0 และอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะต่ำมากที่พีเอชต่ำ ส่วนการมีออกซิเจนละลายจะเป็นการยับยั้งเอนไซม์ที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (Cooper et al.,1996)

2.5.3.3 การบำบัดฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสจะถูกบำบัดโดยกระบวนการดูดซับของตะกอน การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนและตกตะกอน โดยส่วนใหญ่การบำบัดฟอสฟอรัสจะเกิดในชั้นตัวกลาง โดยเฉพาะหากบริเวณก้นบ่อมีส่วนผสมของเหล็ก อลูมิเนียม และแคลเซียมจะช่วยส่งเสริมให้การบำบัดดีขึ้น ส่วนการ

ดูดดึงโดยพืชเป็นกลไกที่มีความสำคัญรองลงมา โดยพืชจะดูดซับฟอสฟอรัสทางรากและส่งผ่านไปยังเนื้อเยื่อเพื่อใช้ในการสร้างเซลล์ เมื่อพืชตายลงเกิดการย่อยสลาย จะมีการคายฟอสฟอรัสออกมาบางส่วนและส่วนที่เหลือจะจมอยู่กับซากพืช

2.5.3.4 การบำบัดของแข็งแขวนลอย

กระบวนการหลักในการบำบัดสารแขวนลอยของบึงประดิษฐ์ คือ การกรองและการตกตะกอน โดยประสิทธิภาพการบำบัดขึ้นอยู่กับความเร็วของน้ำ ชนิดของตัวกลางและพืชที่เหมาะสม พืชที่ปกคลุมผิวดินจะช่วยชะลอความเร็วของน้ำลง ทำให้การตกตะกอนของของแข็งมากขึ้น ปริมาณของแข็งที่ตกตะกอนมากขึ้นจะเกิดการสะสมและอาจทำให้เกิดอุดตัน ตัวกลางที่ใช้จึงควรเป็นตัวกลางที่มีความพรุนเพียงพอที่จะไม่ก่อให้เกิดการอุดตันในระบบ

2.5.3.5 การบำบัดเชื้อก่อโรค

การบำบัดเชื้อก่อโรคของบึงประดิษฐ์มีหลายกลไกด้วยกัน ได้แก่ การตายลงตามธรรมชาติ การตายอันเป็นผลจากรังสีอัลตราไวโอเลต การล่า (Predation) การดูดซับโดยอนุภาคในน้ำ โดยขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคและชนิดของจุลินทรีย์ การดูดซับโดยพืช การตกตะกอนและการกรองในขณะที่น้ำไหลผ่านในระบบ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดขึ้นอยู่กับระยะเวลากักเก็บน้ำและอุณหภูมิ

2.5.3.6 การบำบัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก

สารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพยากและมีความเป็นพิษ เช่น สารลดแรงตึงผิว สารกำจัดศัตรูพืชที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย เป็นต้น โดยจะถูกบำบัดโดยกลไกการระเหยที่ผิวหน้าของระบบ การดูดซับในน้ำและการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ โดยอัตราการย่อยสลายจะขึ้นอยู่กับปริมาณจุลินทรีย์ พีเอช อุณหภูมิ ชั้นตัวกลาง และระยะเวลากักเก็บน้ำ

2.5.3.7 การบำบัดโลหะหนัก

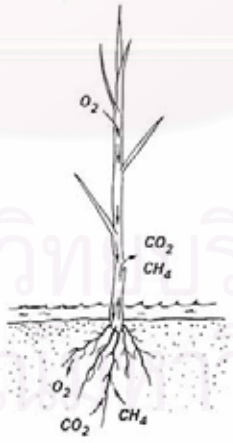
การบำบัดโลหะหนักเป็นการบำบัดที่สำคัญอย่างหนึ่งของระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียส่วนหนึ่งอาจเป็นธาตุอาหารรอง สำหรับพืชใช้ในการเจริญเติบโต แต่บางชนิดก็จัดว่าเป็นสารพิษ โดยที่ระบบบึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียหนึ่งที่สามารถบำบัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียได้โดยการดูดดึงโดยพืช การตกตะกอนทางเคมี การแลกเปลี่ยนประจุ การดูดซับโดยดินและสารประกอบอนินทรีย์ และการเปลี่ยนรูปโดยจุลินทรีย์

2.5.4 การส่งผ่านออกซิเจนในระบบบึงประดิษฐ์ (Brix, 1993 b)

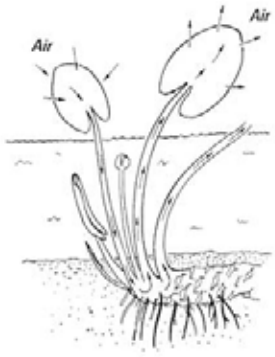
ชั้นตัวกลางของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินจะเต็มไปด้วยน้ำ ทำให้เกิดเป็นสภาวะไร้อากาศ ยกเว้นบริเวณต่ำกว่าผิวหน้าเล็กน้อย ดังนั้นรากพืชจึงจำเป็นต้องได้รับออกซิเจนจากอวัยวะส่วนอื่นของพืช ผ่านการถ่ายเทออกซิเจนภายในพืช กลไกการส่งผ่านก๊าซในพืชของบึงประดิษฐ์เกิดจาก Passive Molecular Diffusion และการพาโดยอากาศ (Convection Flow)

การแพร่เป็นกระบวนการส่งผ่านสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง (หรือมี Partial Pressure สูง) ไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า กลไกการส่งผ่านก๊าซในพืชดังรูปที่ 2.13 ความเข้มข้นของออกซิเจนจะลดลงและเคลื่อนที่จากส่วนบนของต้นพืชลงมา ส่วนความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนจะลดลงและเคลื่อนที่จากส่วนล่างของพืชที่อยู่ใต้ตัวกลางขึ้นมา โดยอัตราการแพร่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลาง น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซ และอุณหภูมิ

การพาของก๊าซ (Convection) อากาศจากบรรยากาศจะเข้ามาภายในพืชถึงรากและใบแก่แล้วกลับออกไปสู่บรรยากาศอีกครั้งในที่สุด ดังรูปที่ 2.14 โดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิและความดันไอน้ำ (Water Vapor Pressure) ระหว่างบรรยากาศกับภายในใบพืชที่เรียกว่า Thermal Transpiration และ Humidity – Induced Pressurization



รูปที่ 2.13 Passive Diffusion ของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์
และมีเทนในพืช (Brix, 1993 b)



รูปที่ 2.14 กลไกการพาของก๊าซในพืช (Brix, 1993 b)

2.5.5 เกณฑ์ในการออกแบบบึงประดิษฐ์

ปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบระบบบึงประดิษฐ์มีหลายประการด้วยกัน ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เกณฑ์ในการออกแบบบึงประดิษฐ์ (Moore, Shada and Sherwood, 1994)

ปัจจัย	หน่วย	ค่าที่เหมาะสม
ระยะเวลากักเก็บน้ำ	วัน	2 – 7
อัตราภาระบีโอดีสูงสุด	กิโลกรัม/เฮกเตอร์-วัน	75
ความลึกของน้ำ	เมตร	0.1 – 1.0
อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์	มิลลิเมตร/วัน	2 - 30
พื้นที่	เฮกเตอร์/10^3 ลบ.ม.-วัน	0.01 – 0.007
อัตราส่วนขนาดของระบบ	ความยาว: ความกว้าง	0.25: 1 ถึง 5: 1
การควบคุมแมลงบิน	-	ไม่มีความจำเป็น
ความถี่ในการเก็บเกี่ยว	ปี	3 - 5

2.5.5.1 ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time, HRT)

ระยะเวลากักเก็บน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของพืช ระดับของการบำบัด สารที่ต้องการบำบัด เป็นต้น ระยะเวลากักเก็บน้ำเสียสามารถคำนวณได้จากสมการ (Kadlec and Knight, 1995)

$$\tau = A\delta\varepsilon/Q$$

โดยที่ τ = ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)

A = พื้นที่ของบึงประดิษฐ์ (ตารางเมตร)

ε = ค่าคงที่ความพรุนของตัวกลาง

δ = ความลึกของน้ำ (เมตร)

Q = อัตราการไหลของน้ำ (ลูกบาศก์เมตร/วัน)

2.5.5.2 ความลึกของน้ำ

การรักษาระดับน้ำภายในระบบบึงประดิษฐ์ มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการบำบัดและการเจริญเติบโตของพืช โดยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน จะมีการไหลของน้ำต่ำกว่าระดับผิวหน้าของตัวกลาง ระดับที่เหมาะสมต่อระบบอยู่ในช่วง 0.1 – 1.0 เมตร

2.5.5.3 อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate, HLR)

สามารถคำนวณอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ได้จาก (Kadlec and Knight, 1995)

$$q = Q/A$$

โดยที่ q = อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (เมตร/วัน)

2.5.5.4 ความหนาแน่นของพืช

พืชเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีส่วนสำคัญในการบำบัดสารปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยมีกลไกในการบำบัดน้ำเสีย เช่น ช่วยลดความเร็วในการไหลของน้ำ ทำให้เกิดการตกตะกอนดีขึ้นและลดการฟุ้งของตะกอน การเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ ช่วยเพิ่มระยะเวลาการสัมผัสกับน้ำเสีย ดังนั้นการปลูกพืชด้วยความหนาแน่นที่เหมาะสมจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่เหมาะสม

2.5.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ (2544) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางต่างกัน 2 ชนิด รวมถึงการสะสมตัวของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในตัวกลางและพืช ผลการทดลองพบว่าบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีและไนโตรเจนสูงสุด และบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหิน ชนวนมีประ

สิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสสูงสุด ส่วนการสะสมตัวของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในตัวกลาง

คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2544) ได้ทดลองใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบผสมผสานที่ประกอบด้วยแบบที่มีการไหลของน้ำใต้ผิวดินในแนวดิ่ง รวมกับแบบที่มีการไหลของน้ำใต้ผิวดินในแนวนอน พบว่ากลไกหลักของการบำบัดไนโตรเจนคือปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน โดยที่ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดได้ดีในส่วนที่มีการไหลของน้ำแนวดิ่ง และปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันสามารถเกิดได้ดีในส่วนที่มีการไหลของน้ำในแนวนอน ส่วนการบำบัดไนโตรเจนโดยกลไกของพืชมีสัดส่วนน้อยมากเมื่อเทียบกับกลไกอื่น เช่น การเปลี่ยนเป็นก๊าซแอมโมเนีย การสะสมในเซลล์จุลินทรีย์ เป็นต้น

พิรัฐพล ตนานนท์ (2544) ศึกษาการทำงานของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอนในการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นน้ำมัน พบว่าระบบบึงประดิษฐ์เหมาะสมที่จะใช้เป็นระบบบำบัดขั้นที่สาม แต่ไม่เหมาะสมในการใช้เป็นระบบบำบัดขั้นที่สอง เนื่องจากระบบไม่สามารถบำบัดของแข็งละลายน้ำได้ ส่วนประสิทธิภาพของระบบจะสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นของน้ำมันในน้ำเสียและอัตราการไหลของน้ำเสียเพิ่มขึ้น

เสนีย์ กาญจนวงศ์ และคณะ (2544) ศึกษาลักษณะการผันแปรของน้ำในบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวในแนวนอน เมื่อใช้เป็นระบบบำบัดขั้นสุดท้ายต่อจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส ผลการศึกษาการผันแปรของลักษณะน้ำในบึงประดิษฐ์ที่ตำแหน่งเดียวกันแต่ต่างความลึก พบว่าไม่มีนัยสำคัญ ส่วนการผันแปรของน้ำที่ตำแหน่งตามความยาวของบึงเท่ากัน แต่ต่างตำแหน่งกันตามความกว้างพบว่ามีการผันแปรอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน นอกจากนี้ระบบบึงประดิษฐ์ยังสามารถลดการแปรปรวนของน้ำทิ้งได้ดี ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นระบบบำบัดขั้นสุดท้าย

Green et al. (1997) ศึกษาการบำบัด *E.coli* และโคลิฟอร์มทั้งหมดจากน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นที่สอง โดยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่มีกรวดเป็นตัวกลาง พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด *E.coli* และโคลิฟอร์มทั้งหมดจะลดลงในฤดูฝน โดยประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอยและแอมโมเนียไม่เปลี่ยนแปลง

Greenway and Woolley (1999) ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน รวมทั้งการสะสมธาตุอาหารของพืช ผลการศึกษาพบว่าการบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพร้อยละ 65 ส่วนการสะสมในพืชพบว่าปริมาณไนโตรเจนในใบและลำต้นมีมากกว่าในราก ในขณะที่พบฟอสฟอรัสในปริมาณมากในเนื้อเยื่อราก โดยพืชโผล่พ้น

น้ำสามารถเก็บธาตุอาหารต่อหน่วยพื้นที่ได้มากกว่า เนื่องจากมีมวลชีวภาพมากกว่าพืชใต้น้ำและพืชลอยน้ำ

Decamp and Warren (2000) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด *E.coli* ในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่มีการปลูกพืชโผล่เหนือน้ำ พบว่าในระบบที่มีการปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัด *E.coli* ประมาณร้อยละ 96.6 – 98.9 ซึ่งสูงกว่าระบบที่ไม่มีการปลูกพืช นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในระบบผสมอีกด้วย กล่าวคือระบบที่ประกอบด้วยระบบที่ใช้ดินเป็นตัวกลางต่อด้วยระบบตัวกลางกรวดจะสามารถบำบัด *E.coli* ได้ดีกว่าระบบตัวกลางกรวดที่ต่อด้วยระบบตัวกลางดิน

Drizo (2000) ทำการศึกษาการกระจายตัวของฟอสฟอรัสและไนโตรเจนในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอนที่ใช้หินแผ่นเป็นตัวกลาง จากการศึกษาทำให้ทราบว่าการกระจายตัวของฟอสฟอรัสและไนโตรเจนในระบบที่มีการปลูกพืช มีรูปแบบไม่แตกต่างจากในระบบที่ไม่มีการปลูกพืช โดยออร์โธฟอสฟอรัสและแอมโมเนียมไนโตรเจนจะปรากฏอยู่ในระบบในปริมาณน้อยและมีปริมาณลดลงตามความยาวของบ่อจากทางน้ำเข้าถึงทางน้ำออก ส่วนปริมาณไนเตรตในระบบจะมีน้อยบริเวณทางน้ำเข้าและเพิ่มปริมาณขึ้นตามยาวจากทางน้ำเข้าถึงทางน้ำออก

Neralla et al. (2000) ศึกษาการใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอนเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียชุมชน ผลการศึกษาพบว่าระบบบึงประดิษฐ์สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ ฟีคัลโคลิฟอร์ม ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียได้ดี โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพ การบำบัดบีโอดี (ร้อยละ 80 - 90) และฟีคัลโคลิฟอร์ม (ร้อยละ 90 - 99) สามารถสรุปได้ว่าระบบบึงประดิษฐ์เหมาะสมที่จะใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองแบบติดกับที่ นอกจากนี้หากมีกระบวนการเติมคลอรีนต่อไปจะช่วยลดปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มให้ต่ำกว่า 2 cfu/100 มล.ได้

Coleman et al. (2001) ได้ทดลองใช้ระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่มีการเติมกรวดเป็นตัวกลาง เพื่อบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่หนึ่งแล้ว โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบที่มีรูปแบบการปลูกพืชแตกต่างกัน ได้แก่ ระบบที่มีการปลูกพืชชนิดเดียว ระบบที่ปลูกพืชแบบผสมและระบบที่ไม่มีการปลูกพืช รวมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบที่มีระดับความสูงของตัวกลางแตกต่างกัน 2 ระดับ ได้แก่ 45 และ 60 เซนติเมตร ผลการศึกษาพบว่าระบบที่มีการปลูกพืช มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงกว่าระบบที่ไม่มีการปลูกพืช ส่วนระดับความลึกของชั้นตัวกลางที่ต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้อยมาก

Meutia (2001) ได้ศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการของระบบบึงประดิษฐ์ รวมทั้งศึกษารูปแบบการไหลของน้ำที่เหมาะสมในการบำบัดของระบบ จากการศึกษา

พบว่ารูปแบบการไหลของน้ำแบบน้ำไหลใต้ผิวดิน มีความเหมาะสมต่อการบำบัดมากกว่าแบบน้ำไหลเหนือผิวดิน โดยสามารถบำบัดซีโอดีได้ร้อยละ 73 – 95 ฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 76 – 95 และไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 82 – 95

Kongphorod (2002) ศึกษาการใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่ปลูกต้นธรรมรักษาเป็นระบบบำบัดขั้นที่สามในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร พบว่าการปลูกต้นธรรมรักษาจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย โดยไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกับระยะการเจริญเติบโตของพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 วันมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเพียงพอที่จะให้น้ำทิ้งมีคุณภาพตามมาตรฐานได้

Lin et al. (2002) ศึกษาลักษณะการบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลาและประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย สาหร่ายและซีโอดีของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือผิวดินและแบบน้ำไหลใต้ผิวที่มีการต่อกันเป็นอนุกรม ภายใต้อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่างกัน จากการศึกษาพบว่าอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์มีผลต่อการบำบัดของแข็งแขวนลอยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีผลต่อการลดลงของคลอโรฟิลล์และซีโอดี ส่วนความหนาแน่นของพืชเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการลดลงของของแข็งแขวนลอยและคลอโรฟิลล์ ในระบบน้ำไหลเหนือผิวดินแต่ไม่มีผลในระบบน้ำไหลใต้ผิว

Manios, Stentiford and Millner (2002) ได้ทดลองใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่มีตัวกลางต่างกันเพื่อบำบัดจุลินทรีย์จากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่หนึ่ง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อก่อโรคในระบบที่มีตัวกลางต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ ดิน กรวด ทรายแม่น้ำ และกากตะกอน รวมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างระบบที่มีและไม่มีการปลูกพืช จากการศึกษาพบว่าระบบที่สามารถลดปริมาณ *E.coli* และฟีคัลโคลิฟอร์มได้สูงสุด คือระบบที่ใช้กรวดเป็นตัวกลาง ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อก่อโรคโดยระบบที่มีการปลูกพืชและไม่มีการปลูกพืชไม่มีความแตกต่างกัน

Trongsawad (2002) ศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์เพื่อบำบัดน้ำเสียจากชุมชน โดยศึกษาในพืช 5 ชนิด ได้แก่ พุทธรักษา (*Canna indica*) ธูปฤาษี (*Typha spp.*) Radican (*Echinodorus spp.*) กก (*Cyperus spp.*) และบอน (*Colocasia antiquorum*) ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรต ไนไตรต์และฟอสเฟต รวมทั้งวัดปริมาณออกซิเจนละลาย จากการศึกษาพบว่า radican และบอนมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรตสูงสุด นอกจากนี้ต้นบอนยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟตและไนไตรต์สูงสุดอีกด้วย สำหรับค่าออกซิเจนละลายของ

ทุกหน่วยการทดลองนั้นลดลงอย่างมากในวันที่ 1 ของการทดลอง และมีค่าคงที่หรือลดลงเล็กน้อยในวันต่อมา

Vymazal (2002) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบบึงประดิษฐ์ในประเทศสาธารณรัฐเชค ส่วนใหญ่มักจะศึกษาระบบที่มีการไหลของน้ำในแนวนอน และใช้เป็นระบบบำบัดขั้นที่สองในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ตัวกลางที่นิยมใช้ในการศึกษามาก ได้แก่ กรวดและหินบด ส่วนพืชที่นิยมใช้ คือ ต้นอ้อ ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย ฟอสฟอรัส และไนโตรเจนเป็นร้อยละ 88 84.3 51 และ 41.6 ตามลำดับ

Garcia et al. (2003) ได้ศึกษาบทบาทที่สำคัญของระยะเวลากักเก็บน้ำเสียและตัวกลางที่มีผลต่อการบำบัดจุลินทรีย์จากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สอง ในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน โดยพิจารณาการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์ม และ Somatic Coliphage ผลการศึกษาพบว่าการบำบัดจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นได้ดี เมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำเสียเพิ่มขึ้นจนถึงค่าอิ่มตัว (3 วัน) ส่วนผลของขนาดของตัวกลาง พบว่าระบบที่ใช้ตัวกลางขนาดเล็ก (2 ─ 13 มิลลิเมตร) จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่า

Mantovi et al. (2003) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน โดยระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์มากกว่าร้อยละ 90 สามารถบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 50 และ 60 ตามลำดับ ลดปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *E.coli* ได้มากกว่าร้อยละ 99 และสามารถลดปริมาณฟีคัลสเตรปโตคอคคัสได้ร้อยละ 98 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้บ่อที่มีการปลูกพืชโผล่พ้นน้ำสามารถใช้บำบัดสารปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชนได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณสารปนเปื้อนในระดับที่สามารถปล่อยสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติได้

Richter and Weaver (2003) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่มีกรวดและแผ่นยางเป็นตัวกลาง เพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอยที่ระเหยได้ แอมโมเนียมไนโตรเจน และฟีคัลโคลิฟอร์มของทั้งสองระบบไม่แตกต่างกัน ส่วนการใช้แผ่นยางเป็นตัวกลางจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสสูงกว่า เนื่องจากแผ่นยางจะมีเหล็กที่สามารถทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสได้สารประกอบที่ไม่ละลายน้ำและเกิดการตกตะกอนต่อไป

Schulz, Gelbrecht and Rennert (2003) ได้ทำการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงปลาโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่ปลูกพืชโผล่เหนือน้ำและใช้ทรายเป็นตัวกลาง ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจนจะแปรผกผันกับระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย ส่วน

การบำบัดของแข็งแขวนลอยและซีโอดีไม่ขึ้นอยู่กับระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย การศึกษาในครั้งนี้จึงสรุปว่าอัตราการบำบัดสารปนเปื้อนจะเหมาะสมที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสียที่สั้น

Thurston et al. (2003) ได้ทำการศึกษาการใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สอง โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาความสามารถในการบำบัดเชื้อก่อโรค ผลจากการศึกษาพบว่าระบบสามารถลดปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม coliphage *Giardia* และ *Cryptosporidium* ได้ร้อยละ 98.8 98.2 95.2 87.8 และ 64.2 ตามลำดับ

Weaver, Stecher and Meinnes (2003) ได้ศึกษาการไหลของน้ำที่มีผลต่อระยะเวลากักเก็บน้ำและปริมาณสารปนเปื้อนในน้ำที่ออกจากระบบ โดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่มีกรวดเป็นตัวกลางเป็นระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบติดกับที่ เมื่อศึกษาการไหลของน้ำในระบบที่มีความสูงต่างกัน 2 ระดับ ได้แก่ 17 และ 25 เซนติเมตร พบว่ารูปแบบการไหลของน้ำไม่แตกต่างกัน และระบบที่มีตำแหน่งของท่อน้ำเข้าแตกต่างกันมีผลต่อการไหลของน้ำน้อยมาก

Garcia et al. (2004) ศึกษาผลของความลึกของน้ำที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชนโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างระบบที่มีระดับความลึกของน้ำ 0.27 และ 0.5 เมตร พบว่าระบบที่มีระดับความลึกของน้ำ 0.27 เมตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่า กล่าวคือสามารถบำบัดบีโอดีและซีโอดีได้ร้อยละ 70 - 80 และสามารถบำบัดแอมโมเนียและฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 40 – 50 และ 10 – 22 ตามลำดับ

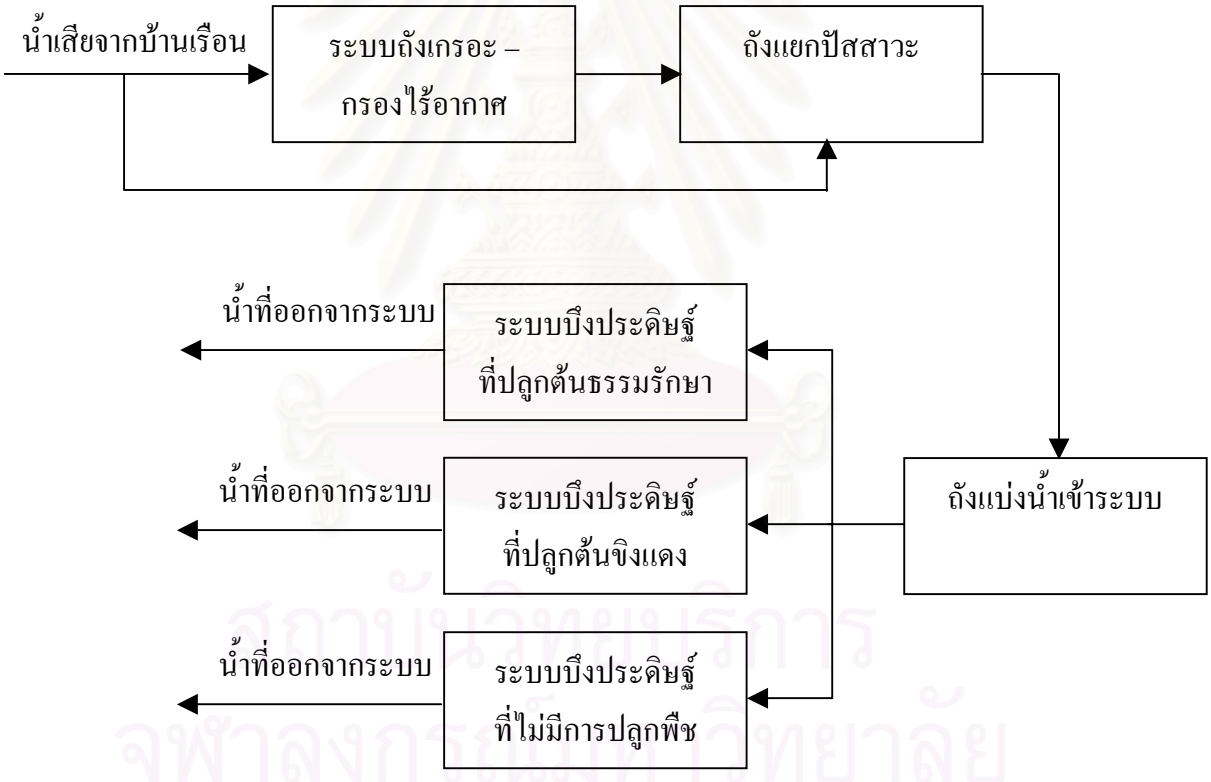
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน โดยน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากถังแยกปัสสาวะรวมกับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองจากระบบถังเกรอะ–กรองไร้อากาศที่บำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือน น้ำเสียที่ผสมกันในถังแยกปัสสาวะจะถูกสูบไปยังถังแบ่งน้ำเข้าระบบ ที่มีวาล์วควบคุมอัตราการไหลเข้าสู่ชุดการทดลองด้วยแรงโน้มถ่วง ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะของชุดการทดลอง

การศึกษาครั้งนี้จะกำหนดช่วงการทดลองเป็น 3 ช่วงด้วยกัน ได้แก่

1) ช่วงการทดลองที่ 1

กำหนดให้มีระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 1 วัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

ระบบที่ 1 มีการปลูกพืชในระบบ โดยพืชที่ปลูก คือต้นธรรมรักษา

ระบบที่ 2 มีการปลูกต้นขิงแดงในระบบ

ระบบที่ 3 เป็นชุดควบคุม ไม่มีการปลูกพืช

2) ช่วงการทดลองที่ 2

เหมือนกับช่วงการทดลองที่ 1 แต่เปลี่ยนระยะเวลากักเก็บน้ำเสียเป็น 2 วัน

3) ช่วงการทดลองที่ 3

เหมือนกับช่วงการทดลองที่ 1 แต่เปลี่ยนระยะเวลากักเก็บน้ำเสียเป็น 3 วัน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 บึงประดิษฐ์

ระบบบึงประดิษฐ์มีองค์ประกอบดังรูปที่ 3.4 ดังนี้

(1) บ่อของระบบ แต่ละชุดการทดลองประกอบด้วยบ่อซีเมนต์ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.75 เมตร สูง 0.35 เมตร จำนวน 3 บ่อ เชื่อมต่อกันเป็นอนุกรมด้วยท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว โดยทำการก่อสร้างชุดการทดลองจำนวน 3 ชุด ดังรูปที่ 3.3 และดำเนินการทดลองในพื้นที่ที่ทำการศึกษา ซึ่งตั้งอยู่หมู่ที่ 6 ตำบลเกาะเรียน อำเภอเมืองพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

(2) ตัวกลาง ตัวกลางที่บรรจุภายในระบบ คือกรวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 – 5 มิลลิเมตรมีอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) เท่ากับ 0.43 โดยมีความหนาของชั้นตัวกลาง 0.30 เมตร

(3) ถังแบ่งน้ำเข้าระบบ เป็นบ่อซีเมนต์ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.75 เมตร สูง 1.10 เมตร โดยวางสูงจากพื้นดิน 0.5 เมตร และมีท่อแบ่งน้ำเข้าระบบซึ่งอยู่สูงจากพื้นดิน 0.7 เมตร

(4) ท่อน้ำเข้า เป็นท่อที่ต่อออกมาจากถังแบ่งน้ำเข้าระบบที่ระดับ 0.7 เมตรจากพื้นดิน โดยใช้ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว และมีวาล์วควบคุมการไหลของน้ำ แล้วต่อกับท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้วที่ใช้เป็นท่อแยกน้ำเข้าสู่แต่ละชุดการทดลอง ที่ระดับความสูง

0.35 เมตร โดยที่ท่อน้ำเข้าของแต่ละชุดการทดลองจะมีวาล์วจำนวน 1 ตัวที่ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของน้ำ ดังรูปที่ 3.4

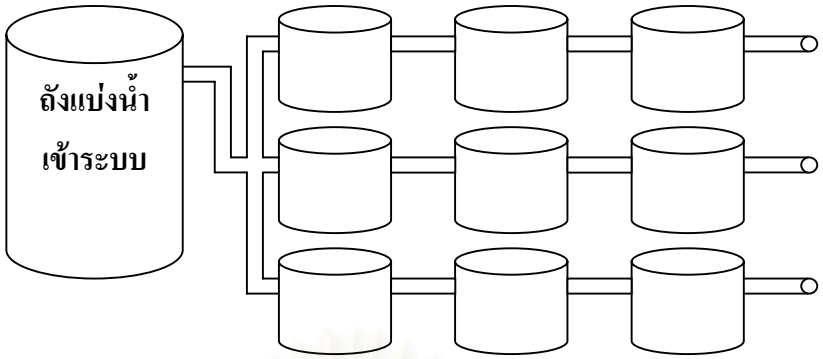
(5) ท่อน้ำออก เป็นท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว เจาะผ่านบ่อของบึงประดิษฐ์ที่ระดับความสูง 0.25 เมตร

(6) ท่อเก็บตัวอย่าง ท่อเก็บตัวอย่างน้ำภายในระบบเป็นท่อพีวีซีปลายเปิด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว อยู่ทางด้านหน้าของบ่อทุกบ่อห่างจากขอบบ่อด้านใน 0.1 เมตร โดยปลายด้านที่อยู่ในชั้นตัวกลางจะอยู่ที่ระดับ 0.05 เมตรจากพื้นบ่อและปิดปลายท่อด้านนี้ด้วยตะแกรง เพื่อป้องกันตัวกลางเข้ามาอยู่ภายในท่อเก็บน้ำ โดยที่น้ำยังสามารถไหลผ่านได้

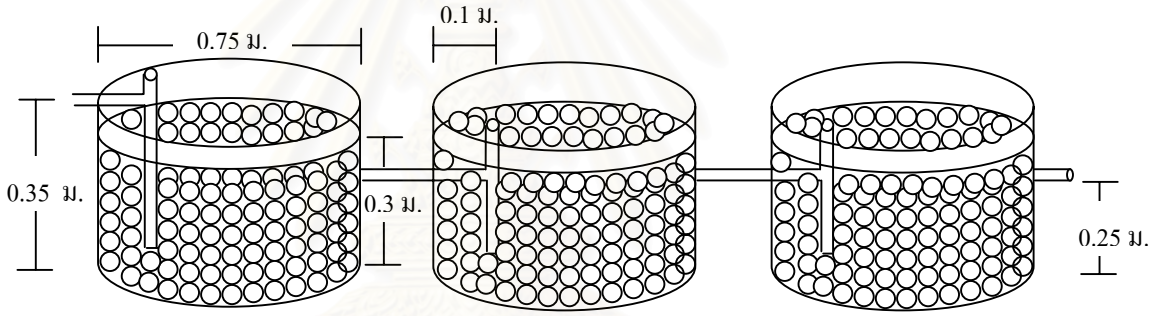
(7) พืช พืชที่ปลูกในระบบมี 2 ชนิด ได้แก่ ต้นธรรมรักษา (*Heliconia psittacorum* cv ‘Lady Di’) และต้นขิงแดง (*Alpinia purpurata*) โดยปลูกห่างระหว่างต้น 20 เซนติเมตรและห่างจากผนังของบ่อ 15 เซนติเมตร จำนวน 27 ต้นต่อชุดการทดลอง ดังรูปที่ 3.5

ระบบบึงประดิษฐ์ในการทดลองมีลักษณะดังรูปที่ 3.2

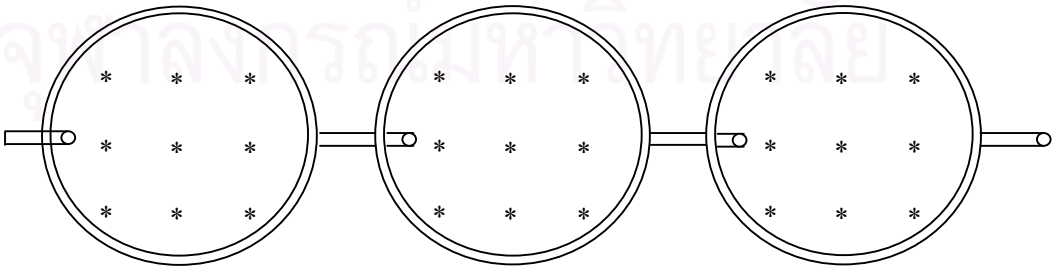
รูปที่ 3.2 ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.3 บ่อของระบบบึงประดิษฐ์



รูปที่ 3.4 องค์ประกอบในบึงประดิษฐ์



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งของพืชในบึงประดิษฐ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 เครื่องสูบน้ำ

ในการทดลองนี้ใช้เครื่องสูบน้ำแบบจม (Submergable Pump) ยี่ห้อ Mitsubishi โมเดล WSP – 105S ทำการสูบน้ำเสียที่ได้รับการผสมกันแล้วในถังแยกปัสสาวะ เพื่อรวบรวมน้ำเสียเข้ามายังถังแบ่งน้ำเข้าระบบ

3.2.3 น้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากถังแยกปัสสาวะ แล้วนำมาผสมกับน้ำเสียจากบ้านเรือนที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองจากระบบถังเกรอะ-กรองไร้อากาศ และผ่านการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนแล้ว

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

3.3.1 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่มีการปลูกต้นธรรมรักษา และต้นขิงแดงในการบำบัดน้ำเสียจากถังแยกปัสสาวะที่รวมกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองจากระบบถังเกรอะ – กรองไร้อากาศที่รับน้ำเสียจากบ้าน โดยมีระยะเวลากักเก็บน้ำเสียที่ต่างกัน 3 ค่า

(1) ป้อนน้ำเสียผ่านระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดิน 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกต้นขิงแดง โดยมีระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 1 วัน

(2) เก็บตัวอย่างน้ำจากระบบตามจุดต่างๆที่ได้กำหนดไว้ เพื่อนำไปวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ บีโอดี ซีโอดี ของแข็งทั้งหมด ทีเคเอ็น ไนไตรต์ไนโตรเจน ไนเตรตไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์ม โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากถังแบ่งน้ำเข้าระบบและท่อเก็บน้ำภายในระบบสัปดาห์ละ 2 วัน คือวันอาทิตย์และวันพุธ ส่วนการเก็บตัวอย่างน้ำที่ออกจากระบบ จะทำหลังจากเก็บตัวอย่างน้ำจากถังแบ่งน้ำเข้าระบบเป็นเวลาเท่ากับระยะเวลากักเก็บน้ำที่ใช้ในช่วงการทดลองนั้น ตลอดระยะเวลาของการทดลอง 4 สัปดาห์

(3) เมื่อครบ 4 สัปดาห์ ทำการเปลี่ยนตัวกลางและพืชชุดใหม่ เริ่มทำการทดลองตั้งแต่ข้อที่ (1) ใหม่ โดยเปลี่ยนระยะเวลากักเก็บน้ำเสียเป็น 2 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ

3.3.2 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของต้นธรรมรักษาและต้นขิงแดงในระบบบึงประดิษฐ์ที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่างกัน

(1) วัดความสูง นับจำนวนใบ ดอกและหน่อของต้นธรรมรักษา และต้นขิงแดง ก่อนและหลังทำการทดลอง

(2) วัดความสูง นับจำนวนใบ ดอกและหน่อของต้นธรรมรักษา และต้นขิงแดง ทุกสัปดาห์ในวันอาทิตย์ ตลอดระยะเวลา 4 สัปดาห์

3.4 การกำหนดตัวแปรและจำแนกตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1 ตัวแปรต้น (Independent Variables)

(1) ระยะเวลากักเก็บน้ำในระบบ

การศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดระยะเวลากักเก็บน้ำเสียเป็น 3 ค่า ได้แก่ 1 2 และ 3 วัน เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบ

(2) ชนิดพืช

การศึกษาครั้งนี้ได้เลือกพืช 2 ชนิด ได้แก่ ต้นธรรมรักษา (*Heliconia psittacorum* cv 'Lady Di') และต้นขิงแดง (*Alpinia purpurata*) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

3.4.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variables)

(1) ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

การกำหนดพารามิเตอร์ชี้วัดคุณภาพน้ำเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบในการศึกษานี้ ได้แก่

พีเอชเป็นค่าที่มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ และการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ

อุณหภูมิ มีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาทางเคมี การลดลงของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำและมีผลต่อกลิ่นและรสของน้ำ

บีโอดี เป็นค่าวัดความสกปรกของน้ำในรูปปริมาณสารอินทรีย์

ซีโอดีเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด ที่ปะปนอยู่ในแหล่งน้ำที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้และไม่สามารถย่อยสลายได้

ของแข็งทั้งหมด มีผลต่อการลดลงของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ฟอสฟอรัสทั้งหมดเป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และสามารถกระตุ้นให้พืชน้ำเติบโตอย่างรวดเร็ว

ทีเคเอ็นเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ

ไนเตรตเป็นแหล่งอาหารของพืช สามารถทำให้แหล่งน้ำเกิดสภาวะ Eutrophication ได้

ไนไตรต์เป็น Intermediate Oxidation State ของไนโตรเจนและไม่ค่อยเสถียร การพบไนไตรต์ไนโตรเจนปริมาณมากทำให้ทราบว่ามีการใช้ไนโตรเจนไม่สมบูรณ์

ฟีคัลโคลิฟอร์มเป็นค่าที่บ่งชี้การปนเปื้อนสิ่งขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์

(2) การเจริญเติบโตของพืช

ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาอัตราความสูง อัตราการเกิดใบ ดอก และหน่อ เพื่อศึกษาผลของการทดลองที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

3.4.3 ตัวแปรควบคุม (Fixed Variables)

(1) รูปแบบของระบบ

ระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ใช้บ่อซีเมนต์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.75 เมตร สูง 0.35 เมตร จำนวน 3 บ่อ ต่อกันด้วยท่อพีวีซีเป็นอนุกรมในแต่ละชุดการทดลอง

(2) ชั้นตัวกลาง

วัสดุที่ใช้เป็นชั้นรองฐานบ่อและเป็นที่ยึดเกาะของรากพืช คือกรวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 – 5 มิลลิเมตร โดยให้มีความหนาของชั้นตัวกลาง 0.30 เมตร

(3) ระดับความลึกของน้ำ

กำหนดให้ระดับน้ำในระบบสูง 0.25 เมตรจากพื้นบ่อ

(4) การไหลของน้ำในระบบ

การศึกษานี้ได้ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน น้ำเสียจะไหลผ่านชั้นตัวกลางและสัมผัสกับรากพืชแล้วไหลออกไปในระดับต่ำกว่าผิวบนของชั้นตัวกลาง

(5) อายุของพืช และการปลูกพืช

การปลูกพืชในระบบเป็นแบบกระจายเต็มพื้นที่ โดยมีความหนาแน่นประมาณ 20 ต้นต่อตารางเมตร ต้นธรรมรักษาและต้นขิงแดงที่ปลูกอายุเริ่มต้น 4 และ 28 สัปดาห์ ตามลำดับ

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.5.1 การศึกษาคุณภาพน้ำ

3.5.1.1 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำเสียที่จะนำมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ โดยเก็บจากจุดต่างๆดังนี้

(1) ถังแบ่งน้ำเข้าระบบ

(2) ท่อจ่ายน้ำเข้าสู่บ่อด้านหน้าของทุกบ่อ

(3) น้ำออกจากระบบ

3.5.1.2 ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์พีเอช อุณหภูมิ บีโอดี ซีโอดี ของแข็งทั้งหมด ทีเคเอ็น ไนไตรต์ไนโตรเจน ไนเตรตไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมด 2 ครั้งต่อสัปดาห์ และการวิเคราะห์ฟีคัลโคลิฟอร์มจะเก็บตัวอย่าง 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ				
	ถังแบ่งน้ำเข้าระบบ	ท่อเก็บตัวอย่างบ่อที่ 1	ท่อเก็บตัวอย่างบ่อที่ 2	ท่อเก็บตัวอย่างบ่อที่ 3	จุดที่น้ำออกจากระบบ
พีเอช	✓	✓	✓	✓	✓
อุณหภูมิ	✓	✓	✓	✓	✓
บีโอดี	✓				✓
ซีโอดี	✓				✓
ของแข็งทั้งหมด	✓				✓
ทีเคเอ็น	✓	✓	✓	✓	✓
ไนไตรต์ไนโตรเจน	✓	✓	✓	✓	✓
ไนเตรตไนโตรเจน	✓	✓	✓	✓	✓
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	✓				✓
ฟีคัลโคลิฟอร์ม	✓				✓

✓ คือ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5.1.3 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพบำบัดของระบบ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. pH	Electrometric Method
2. Temperature	เทอร์โมมิเตอร์ (Mercury Filled Thermometer)
3. Biochemical Oxygen Demand (BOD)	Azide Modification Method
4. Chemical Oxygen Demand (COD)	Close Reflux Method
5. Total Solid (TS)	Gravimetric Method
6. Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	Kjeldahl Method
7. Nitrite-Nitrogen	Colorimetric Method
8. Nitrate-Nitrogen	Cadmium Reduction Method
9. Total Phosphorus (TP)	Vanadomolybdophosphoric Acid Method
10. Fecal Coliform	MPN Method (Multiple Tube Fermentation Technique)

3.5.2 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของพืช

ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของพืชโดยวัดความสูงของพืชเพื่อหาอัตราความสูง นับจำนวนใบ ดอกและหน่อของพืชเพื่อหาอัตราการเกิดใบ ดอกและหน่อ 1 ครั้งต่อสัปดาห์

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทดสอบความแตกต่างของข้อมูลในแต่ละปัจจัยโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบบำบัดโดยวิธี Duncan's new Multiple Range Test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะทั่วไปในการทดลอง

4.1.1 สภาพภูมิอากาศและอุณหภูมิ

พื้นที่ที่ทำการศึกษาครั้งนี้เป็นพื้นที่ที่มีแสงแดดจัดและมีอุณหภูมิของอากาศสูง โดยตลอดการทดลองอากาศมีช่วงอุณหภูมิของอากาศเป็น 27 - 37 องศาเซลเซียส ส่วนสภาพภูมิอากาศในช่วงทำการทดลองมีฝนตกเป็นระยะ แต่เนื่องจากระบบมีหลังคาใยแก้วใสที่สามารถป้องกันน้ำฝนได้ ดังนั้นปริมาณน้ำฝนจึงไม่มีผลต่อการทดลอง

4.1.2 ลักษณะของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สอง จากระบบบำบัดน้ำเสียถังเกรอะ–กรองไร้อากาศและผสมกับน้ำปัสสาวะที่ยังไม่ได้รับการบำบัด โดยน้ำเสียทั้งสองนี้เป็นน้ำเสียที่มาจากแหล่งเดียวกัน เนื่องจากระบบถังเกรอะ–กรองไร้อากาศมีประสิทธิภาพในการบำบัดธาตุอาหารต่ำ ดังนั้นจึงมีการแยกน้ำปัสสาวะที่มีธาตุอาหารในปริมาณสูงก่อนเข้าสู่ระบบ โดยน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดโดยระบบถังเกรอะ–กรองไร้อากาศมีลักษณะดังตารางที่ 4.1 เมื่อน้ำเสียดังกล่าวเกิดการผสมกันแล้วจะมีลักษณะดังตารางที่ 4.2 โดยจะพบว่าน้ำเสียที่ผสมแล้วจะมีพีเอชสูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากมีน้ำปัสสาวะที่เข้ามาผสมมียูเรียเป็นองค์ประกอบสำคัญ และยังทำให้น้ำเสียที่ผสมแล้วมีปริมาณทีเคเอ็นสูงขึ้นอีกด้วย แต่ค่าบีโอดีของน้ำเสียที่ผสมแล้วมีค่าลดลง เนื่องจากการเจือจางจากนั้นน้ำเสียจากถังแยกปัสสาวะจะถูกสูบเข้าสู่ชุดการทดลอง ทำให้เกิดการกวนตะกอนภายในถัง ของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียที่เข้าระบบ จึงมีปริมาณสูงกว่าน้ำทิ้งจากระบบถังเกรอะ-กรองไร้อากาศ ส่วนปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มของน้ำเสียที่ผสมแล้วจะสูงขึ้นอย่างมากจากการปนเปื้อนของสิ่งขับถ่ายเข้าสู่ถังที่น้ำมาผสมกันโดยตรง

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดโดยระบบถังเกรอะ–กรองไร้อากาศ

คุณลักษณะ	ช่วงของน้ำทิ้ง	ค่าเฉลี่ยของน้ำทิ้ง
1. พีเอช	6.50 - 8.11	7.43
2. อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29.0 – 30.0	29.66
3. บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	24.0 - 105.0	71.38
4. ของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	674.0 – 1065.6	851.21
5. ทีเคเอ็น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	44.1 – 76.0	64.43
6. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	2.00 – 16.25	8.3
7. ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร)	$9.0 \times 10^3 - 2.44 \times 10^4$	1.30×10^4

หมายเหตุ: จำนวนตัวอย่างเท่ากับ 16

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบทดลอง

คุณลักษณะ	ช่วงของน้ำเสีย	ค่าเฉลี่ยของน้ำเสีย
1. พีเอช	7.04 – 8.40	7.68
2. อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.0 – 31.0	28.96
3. บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	27.0 – 72.0	48.38
4. ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	136.0 – 464.0	244.67
5. ของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	746.3 – 1637.4	1027.5
6. ทีเคเอ็น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	51.8 – 246.4	105.7
7. ไนไตรต์ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.0031 – 0.0239	0.0074
8. ไนเตรตไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.0102 - 0.1051	0.0451
9. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4.25 – 29.50	11.53
10. ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร)	$2.0 \times 10^6 - 9.0 \times 10^6$	5.33×10^6

หมายเหตุ: จำนวนตัวอย่างเท่ากับ 24

4.2 การศึกษาลักษณะของน้ำเสียที่เข้าและน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์

การทดลองป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วัน หรืออัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 10.78 5.43 และ 3.62 เซนติเมตรต่อวัน ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 พีเอช

จากการวัดค่าพีเอชของน้ำเข้าและออกจากระบบบึงประดิษฐ์ดังรูปที่ 4.1 รวมทั้งการวัดค่าพีเอชของน้ำเสียที่อยู่ในระบบตลอดการทดลอง พบว่าค่าพีเอชของน้ำเสียจะมีค่าเข้าใกล้ 7 มากขึ้นตามระยะทางจากถังแบ่งน้ำเข้าระบบ โดยน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 7.04 – 8.40 และมีค่าเฉลี่ย 7.68 ส่วนน้ำทิ้งจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.03 – 7.80 โดยมีค่าเฉลี่ย 7.35 น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีค่าพีเอชระหว่าง 7.02 – 7.60 และมีค่าเฉลี่ย 7.21 พีเอชของน้ำทิ้งจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีค่าระหว่าง 7.02 – 7.68 และมีค่าเฉลี่ย 7.27

4.2.2 อุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระบบบึงประดิษฐ์จากจุดที่น้ำเข้าสู่ระบบถึงจุดที่น้ำทิ้งออกจากระบบ พบว่าอุณหภูมิของน้ำทิ้งที่ผ่านระบบส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบดังรูปที่ 4.2 โดยอุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าอยู่ในช่วง 28.0 – 31.0 องศาเซลเซียสและมีค่าเฉลี่ย 29.0 องศาเซลเซียส สำหรับน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 26.0 – 31.0 องศาเซลเซียสและมีค่าเฉลี่ย 27.9 องศาเซลเซียส น้ำทิ้งจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีอุณหภูมิระหว่าง 26.0 – 31.0 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ย 27.4 องศาเซลเซียส ส่วนน้ำทิ้งจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีอุณหภูมิระหว่าง 26.0 – 31.0 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ย 27.6 องศาเซลเซียส

4.2.3 บีโอดี

น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าบีโอดีระหว่าง 27.0 – 72.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 48.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีโอดีในน้ำเสียที่เข้าระบบและน้ำทิ้งที่ออกจากระบบแสดงดังรูปที่ 4.3 น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 9.0 – 54.0 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 23.4 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 0.0 – 27.0 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 10.4 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 0.0 – 27.0 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 10.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูก

ต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีค่าบีโอดีเฉลี่ย 34.5 18.8 และ 18.0 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีค่าบีโอดีเฉลี่ย 19.5 5.6 และ 8.3 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีค่าบีโอดีเฉลี่ย 14.6 5.3 และ 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

4.2.4 ซีโอดี

ซีโอดีในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าระหว่าง 136.0 – 464.0 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 244.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดโดยระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชจะมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 48.0 – 336.0 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 154.2 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 16.0 – 208.0 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 68.7 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 32.0 – 200.0 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 96.2 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าซีโอดีในน้ำที่เข้าสู่ระบบและน้ำที่ออกจากระบบเป็นดังรูปที่ 4.4 โดยค่าซีโอดีของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบจะลดลงเมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำเพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดง มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 249.0 103.0 และ 140.0 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีค่าซีโอดีเฉลี่ย 143.5 59.0 และ 54.0 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีค่าซีโอดีเฉลี่ย 70.0 44.0 และ 54.0 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

4.2.5 ของแข็งทั้งหมด

ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียที่เข้าระบบ และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบแสดงดังรูปที่ 4.5 น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 1027.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชโดยเฉลี่ยเป็น 945.9 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 806.6 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 865.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดง มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 928.6 837.7 และ 890.4 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน น้ำทิ้งของ

ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 876.6 748.1 และ 792.4 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 1032.5 834.0 และ 914.1 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

4.2.6 ทีเคเอ็น

ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืชทุกระยะเวลากักเก็บน้ำ จะมีปริมาณทีเคเอ็นลดลงตามระยะทางที่น้ำเสียไหลผ่าน น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจะมีปริมาณทีเคเอ็นอยู่ในช่วง 51.8 – 246.4 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีค่าเฉลี่ย 105.7 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชมีปริมาณทีเคเอ็นอยู่ในช่วง 5.6 – 70.0 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 31.7 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีปริมาณทีเคเอ็นอยู่ในช่วง 0.0 – 19.6 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 9.4 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณทีเคเอ็นอยู่ในช่วง 2.8 – 61.6 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 16.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณทีเคเอ็นเฉลี่ย 34.7 12.1 และ 22.9 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณทีเคเอ็นเฉลี่ย 30.5 9.5 และ 14.7 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณทีเคเอ็นเฉลี่ย 30.1 6.7 และ 11.6 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยปริมาณทีเคเอ็นในน้ำเสียที่เข้าระบบและน้ำทิ้งที่ออกจากระบบที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่างๆเป็นดังรูปที่ 4.6

4.2.7 ไนไตรต์ไนโตรเจน

ผลการทดลองพบว่าไนไตรต์ไนโตรเจนในน้ำที่เข้าและน้ำที่ออกจากระบบในปริมาณน้อยดังรูปที่ 4.7 และมีปริมาณลดลงจากทางน้ำเข้า โดยน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 0.003 – 0.024 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 0.007 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชมีปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.002 – 0.018 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ย 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.000 – 0.011 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.001 – 0.013 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน

น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนเฉลี่ย 0.004 0.003 และ 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดง มีปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนเฉลี่ย 0.005 0.004 และ 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนเฉลี่ย 0.006 0.003 และ 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

4.2.8 ไนเตรตไนโตรเจน

น้ำที่เข้าสู่ระบบมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนอยู่ประมาณ 0.01 - 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในน้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01 – 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.00 – 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.01 – 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนเฉลี่ย 0.05 0.04 และ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนเฉลี่ย 0.04 0.02 และ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนเฉลี่ย 0.02 0.01 และ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของน้ำที่เข้าสู่ระบบและน้ำที่ออกจากระบบดังรูปที่ 4.8

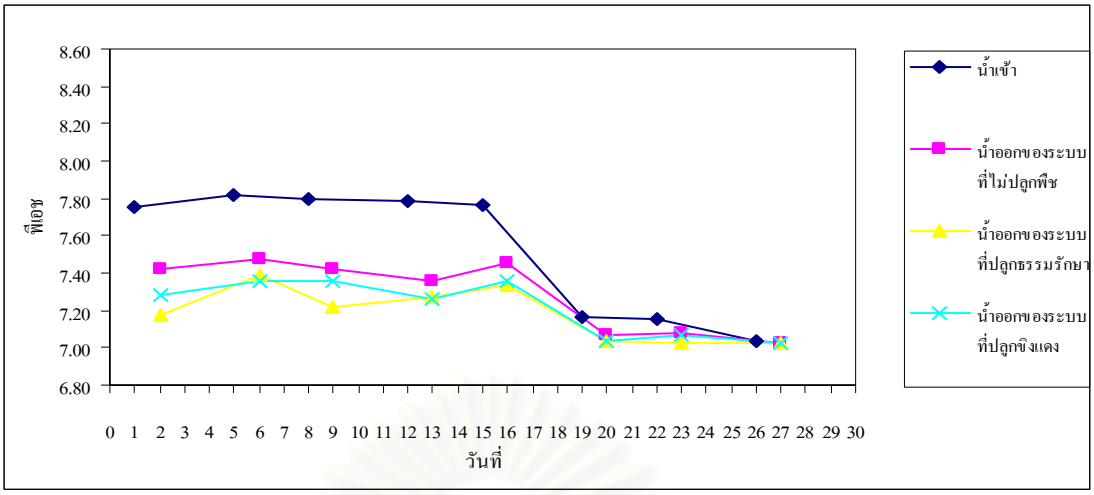
4.2.9 ฟอสฟอรัสทั้งหมด

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าอยู่ในช่วง 2.50 – 29.50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 11.53 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่าง 2.00 – 13.75 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 7.59 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.00 – 7.75 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 3.40 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.50 – 12.50 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย

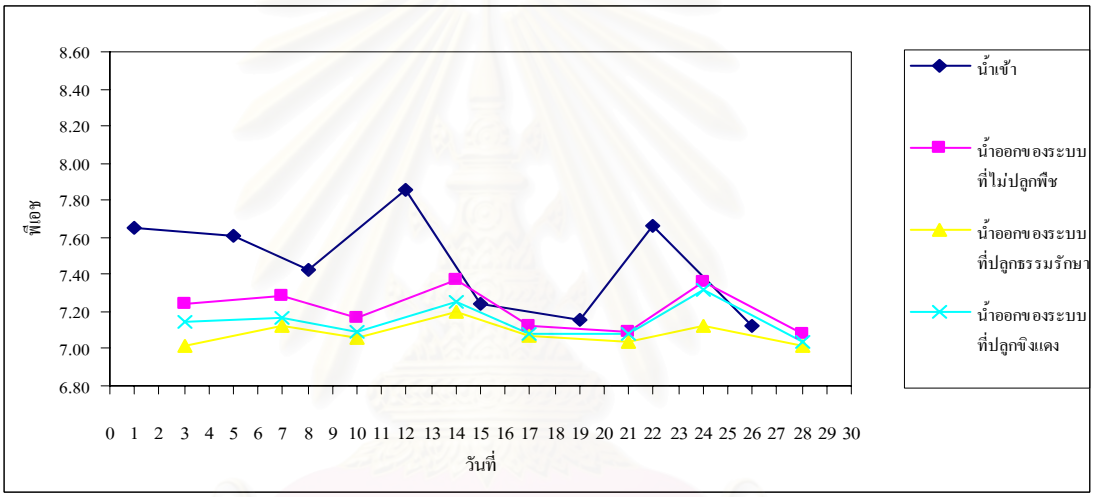
4.55 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียที่เข้าระบบและน้ำทิ้งที่ออกจากระบบที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่างๆเป็นดังรูปที่ 4.9 ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ย 8.91 4.28 และ 5.06 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ย 7.78 3.56 และ 5.41 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ย 6.09 2.34 และ 3.19 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

4.2.10 ฟีคัลโคลิฟอร์ม

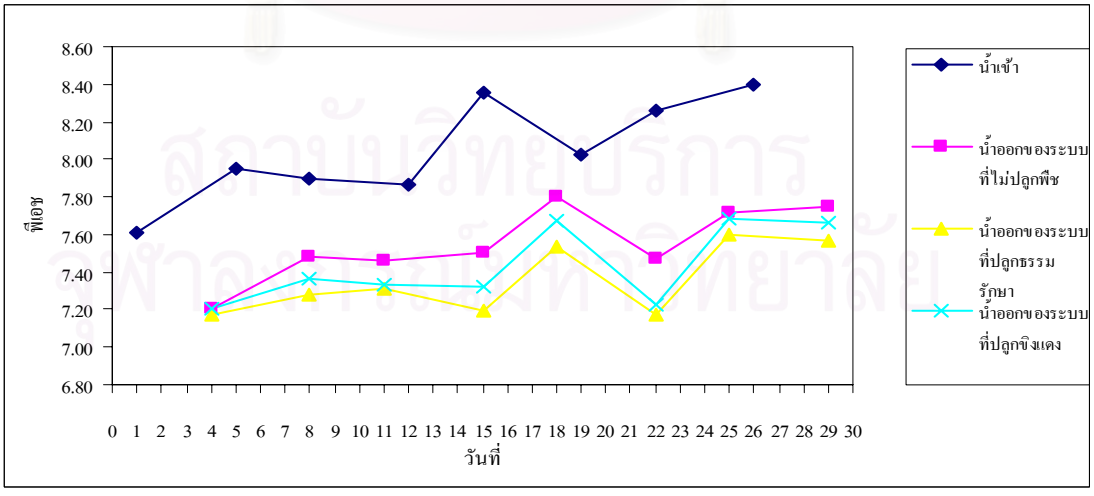
น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มที่สูง เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าระบบส่วนหนึ่งได้รับจากห้องน้ำโดยตรง โดยมีปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มอยู่ระหว่าง 2.0×10^6 - 9.0×10^6 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ย 5.33×10^6 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร น้ำทิ้งที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชมีปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มที่ลดลงอยู่ระหว่าง 1.5×10^3 - 7.3×10^4 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร และมีค่าเฉลี่ย 2.17×10^4 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มอยู่ในช่วง 5.0×10^1 – 3.3×10^4 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 5.46×10^3 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร และน้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มอยู่ในช่วง 3.0×10^1 – 3.6×10^4 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 8.77×10^3 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร โดยปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มในน้ำเสียที่เข้าระบบและน้ำทิ้งที่ออกจากระบบที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่างๆเป็นดังรูปที่ 4.10 ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มเฉลี่ย 3.40×10^4 1.48×10^4 และ 2.19×10^4 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดง มีปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มโดยเฉลี่ย 8.50×10^3 1.10×10^3 และ 1.65×10^3 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มเฉลี่ย 9.23×10^3 4.63×10^2 และ 2.6×10^3 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ



ก. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน

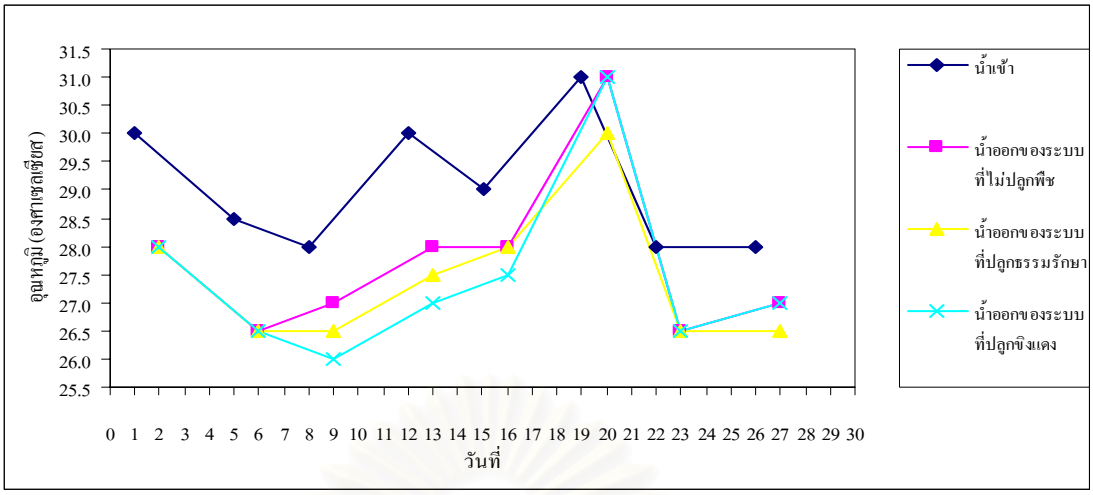


ข. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน

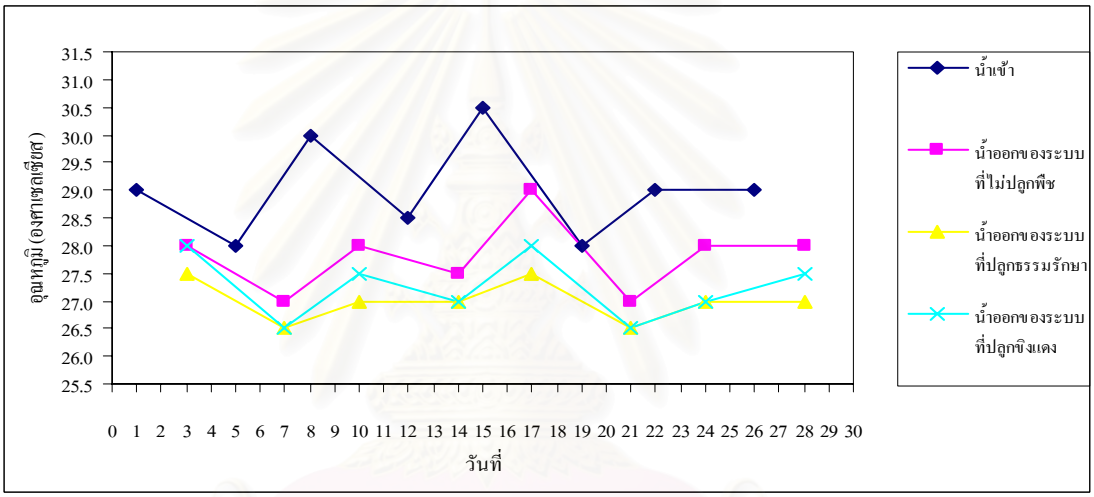


ค. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน

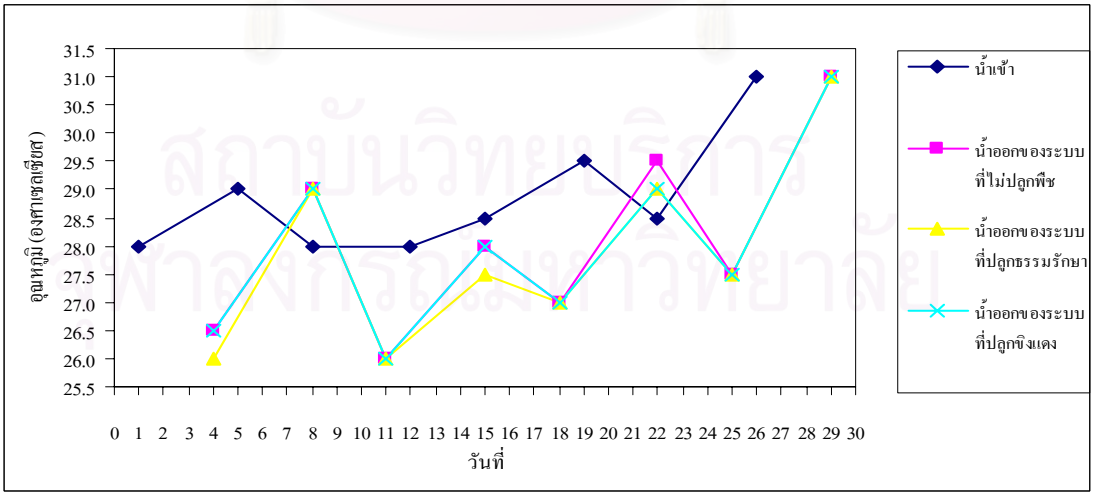
รูปที่ 4.1 พีเอชของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์



ก. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน

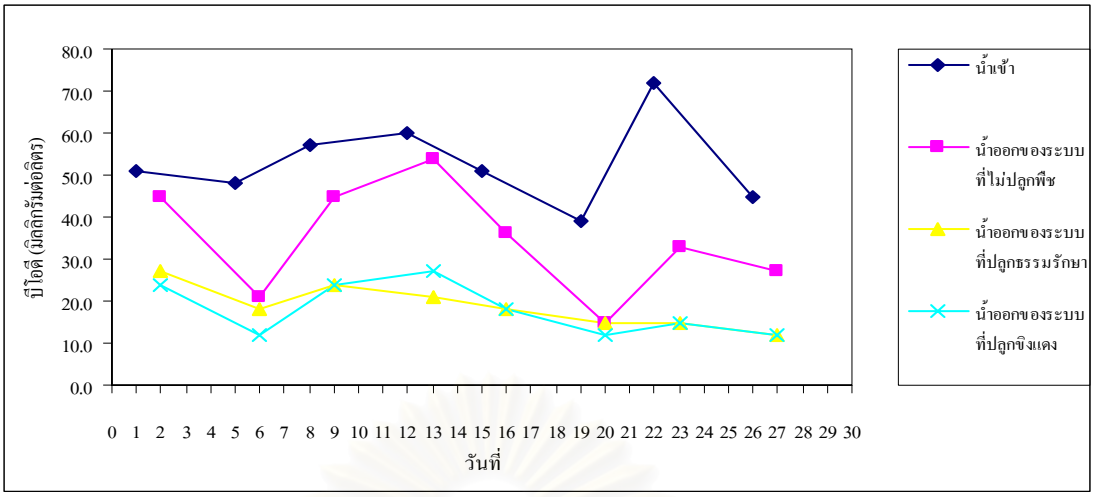


ข. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน

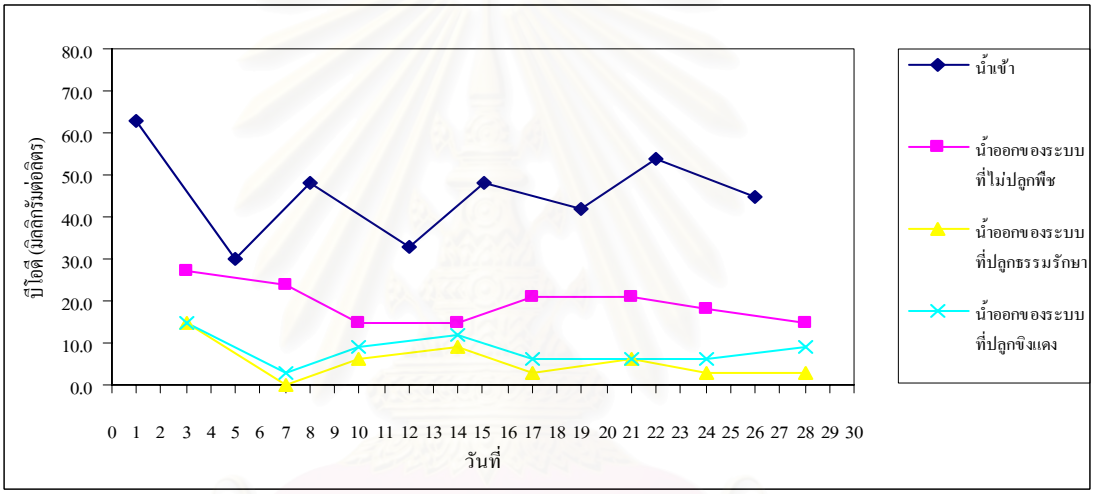


ค. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน

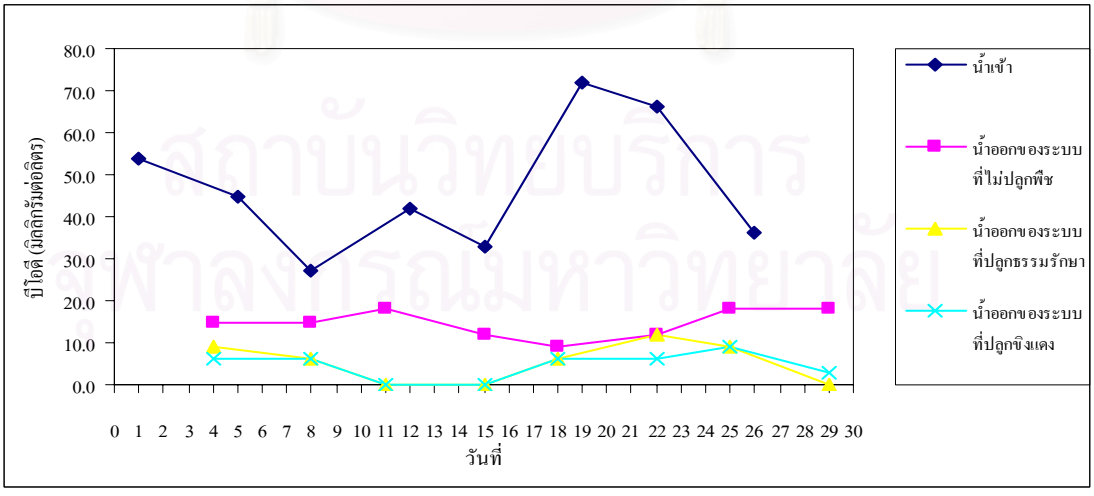
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์



ก. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน

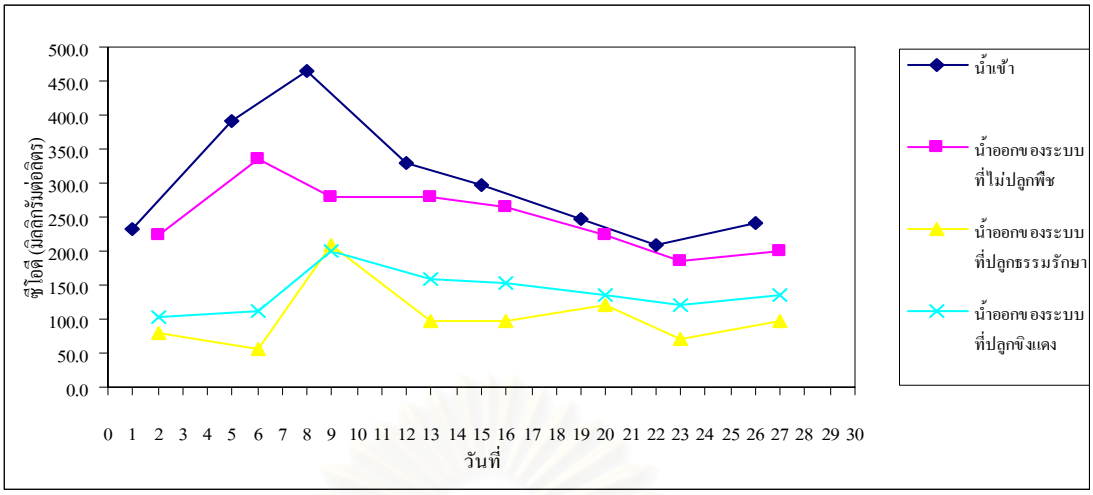


ข. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน

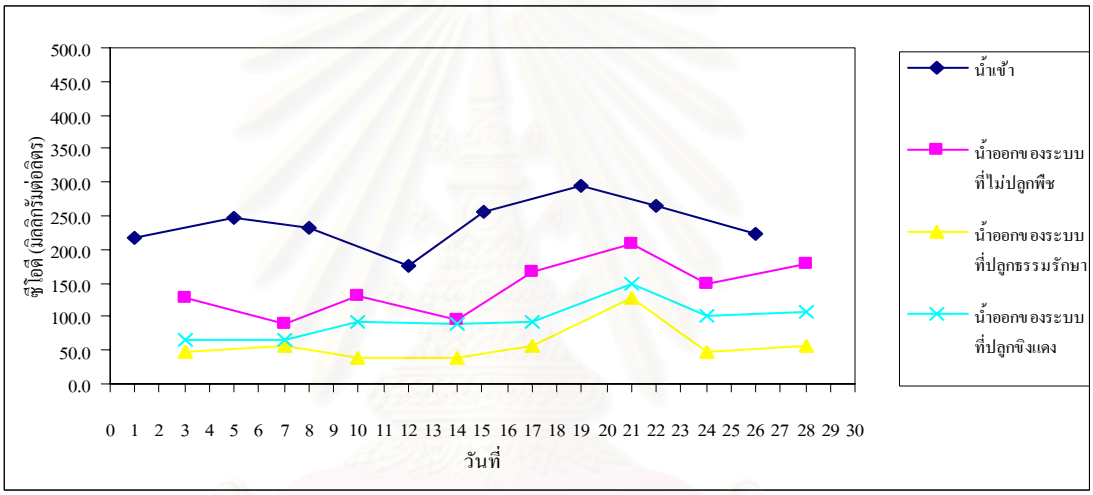


ค. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน

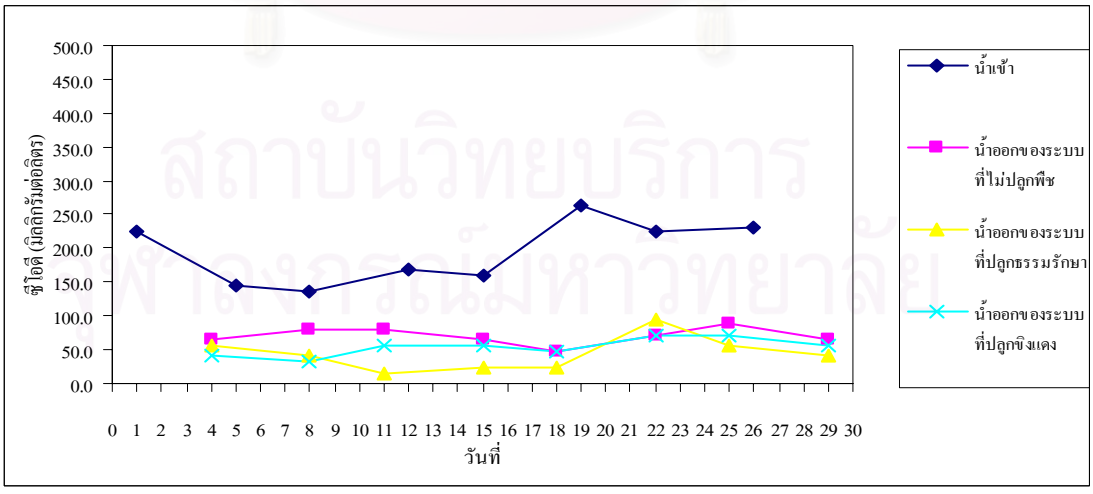
รูปที่ 4.3 บีโอดีของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์



ก. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน

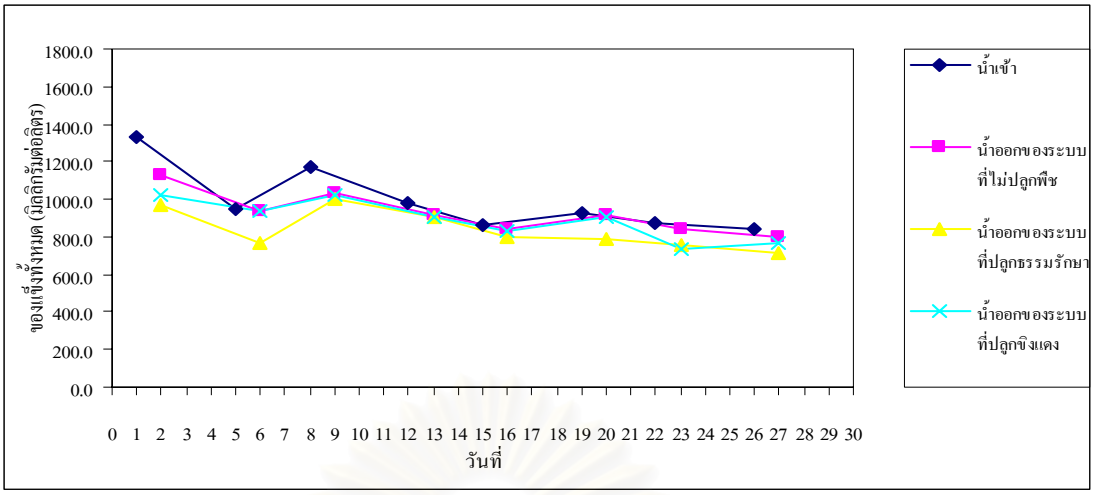


ข. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน

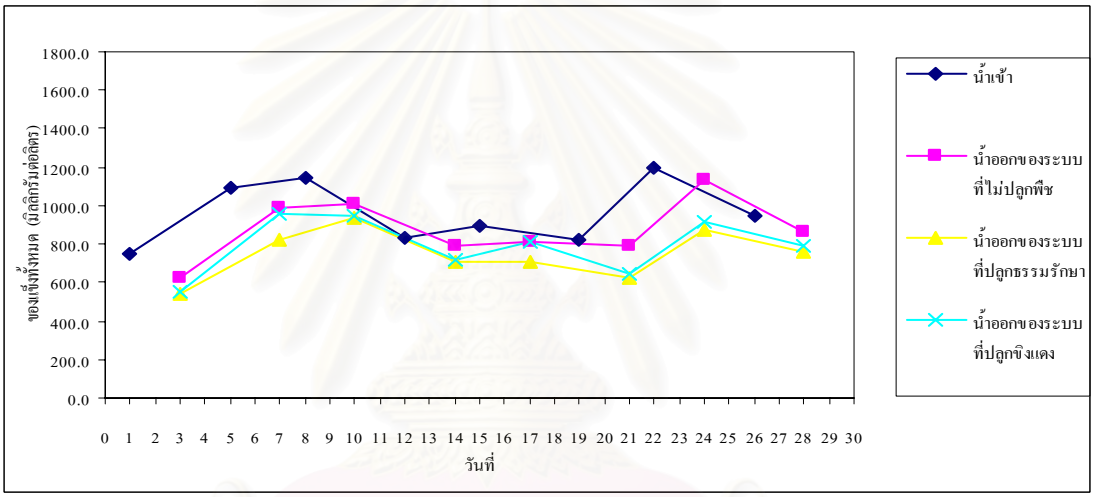


ค. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน

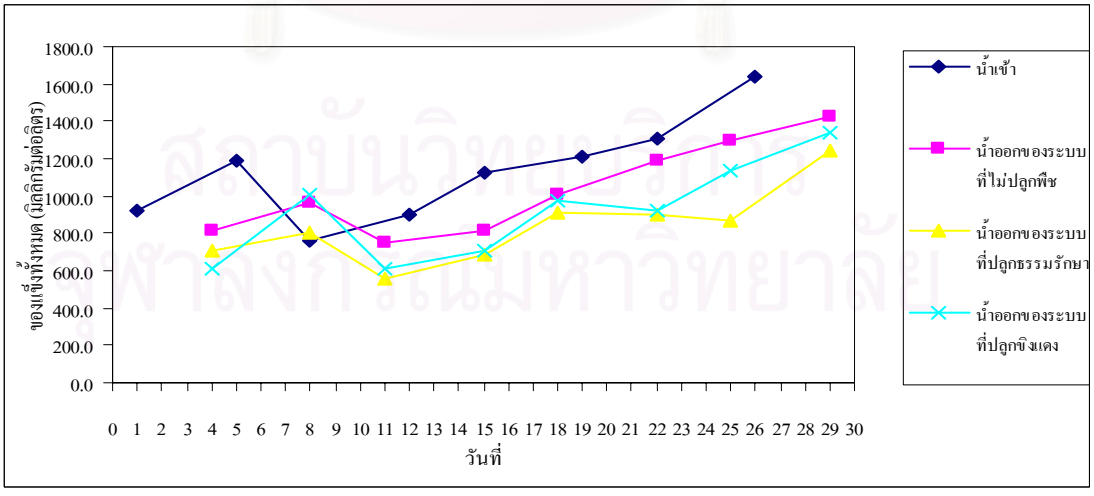
รูปที่ 4.4 ซีโอดีของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์



ก. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน

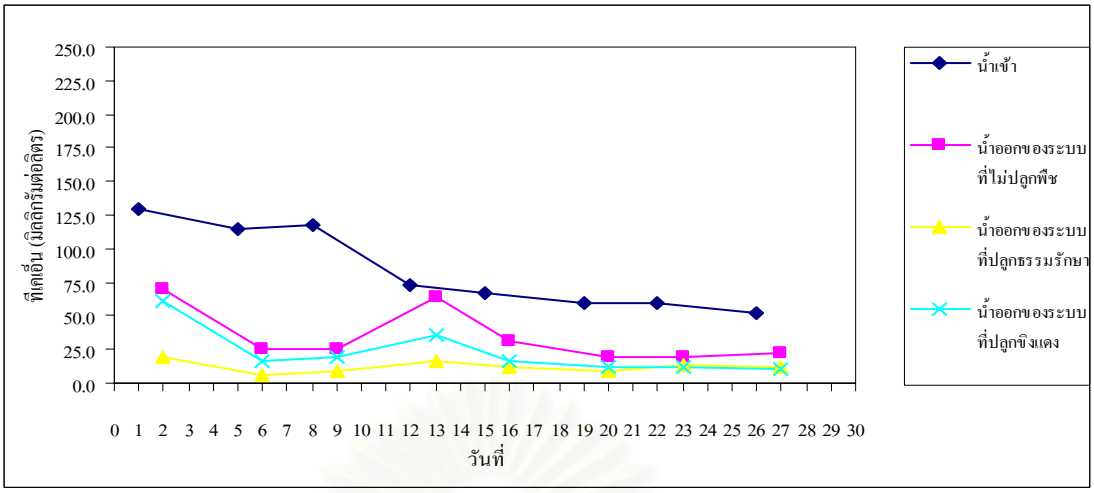


ข. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน

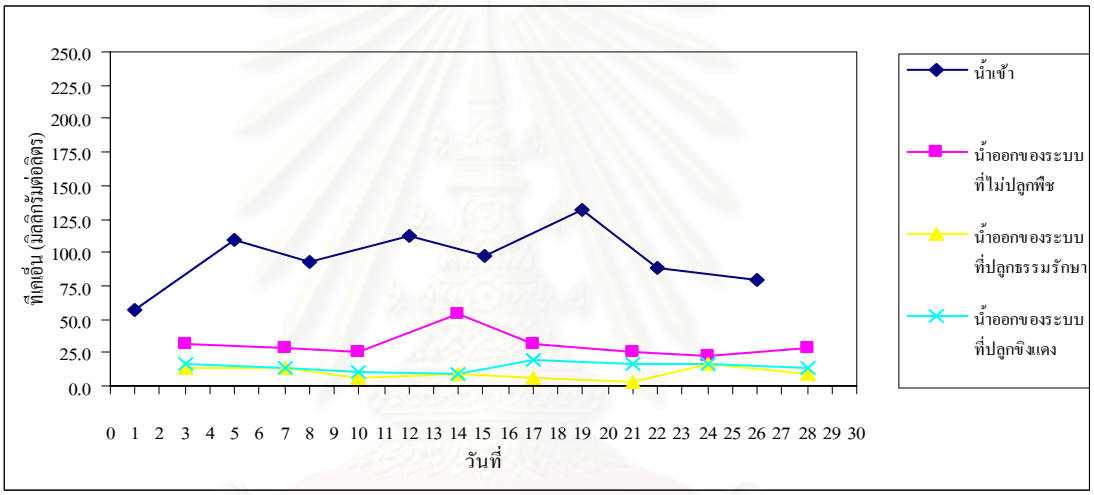


ค. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน

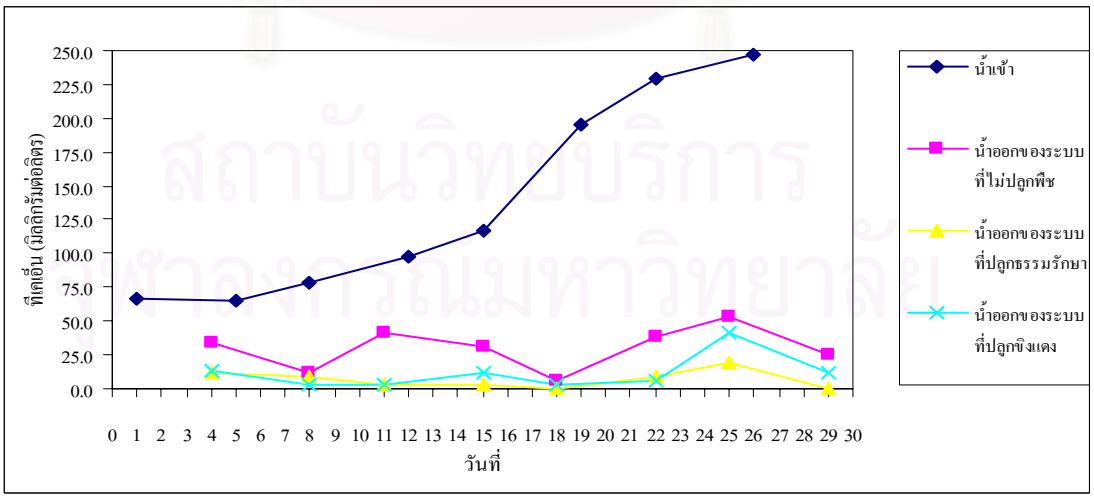
รูปที่ 4.5 ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์



ก. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน

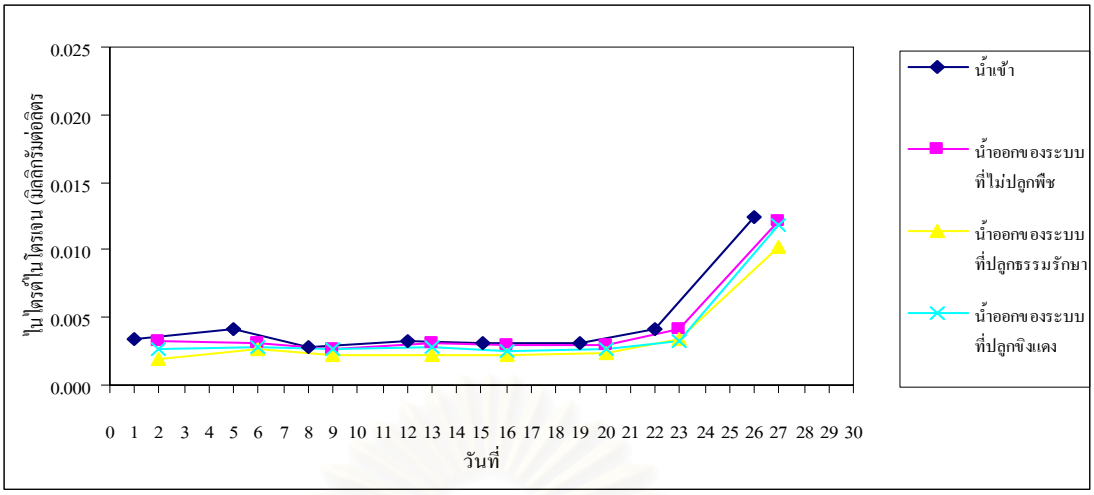


ข. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน

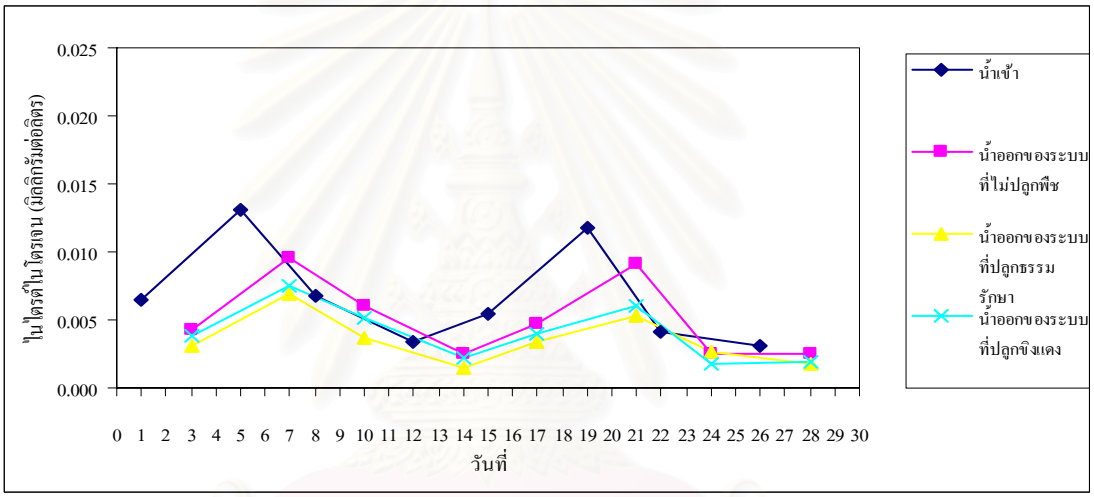


ค. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน

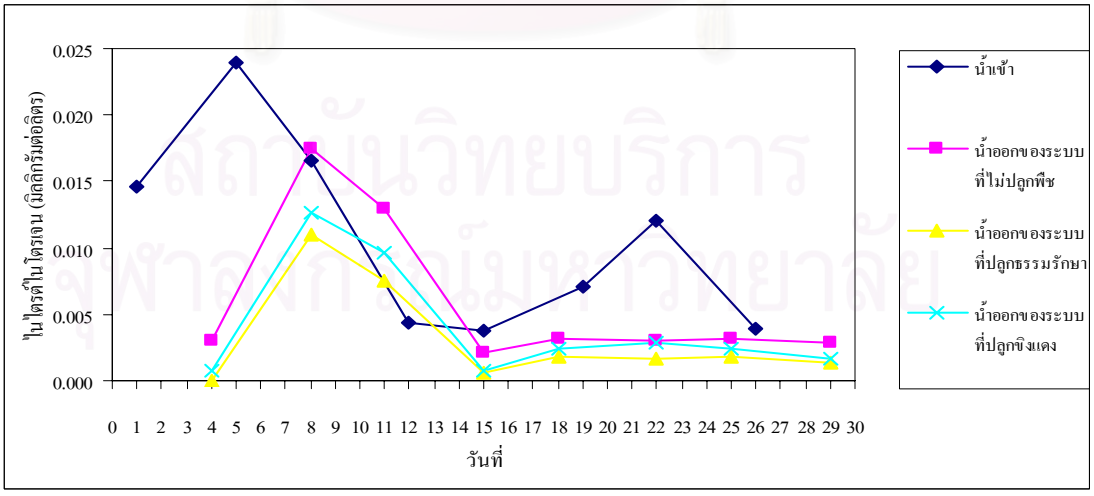
รูปที่ 4.6 ปริมาณทีเคเอ็นของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์



ก. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน

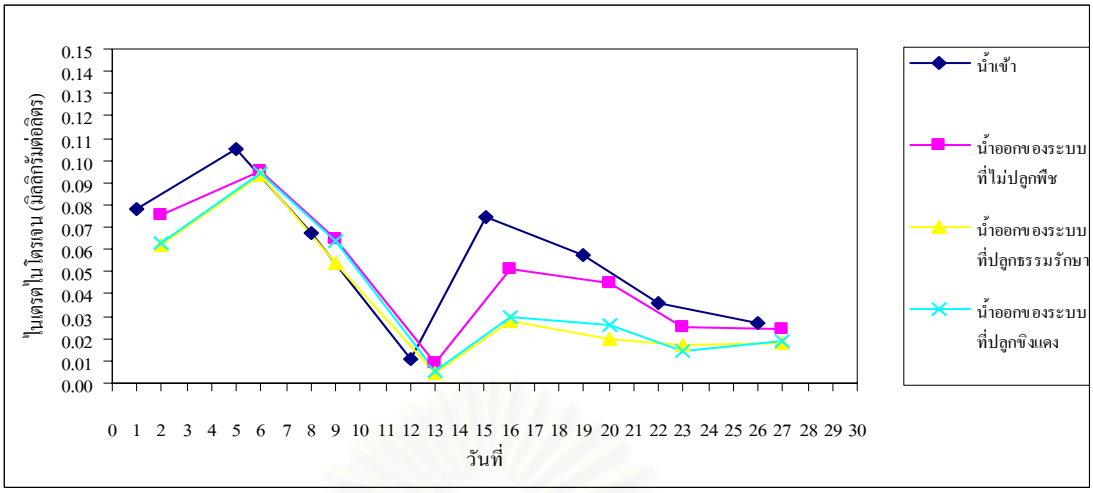


ข. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน

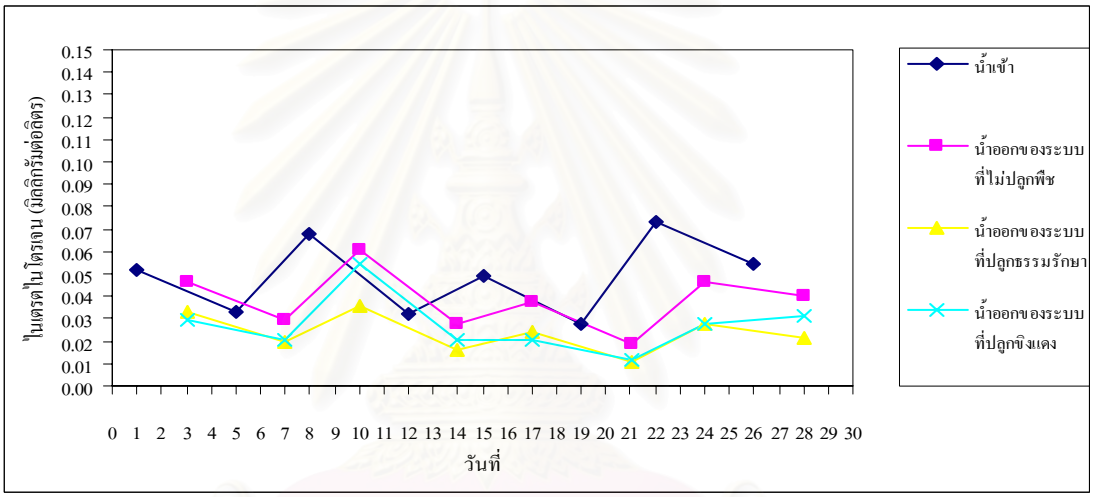


ค. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน

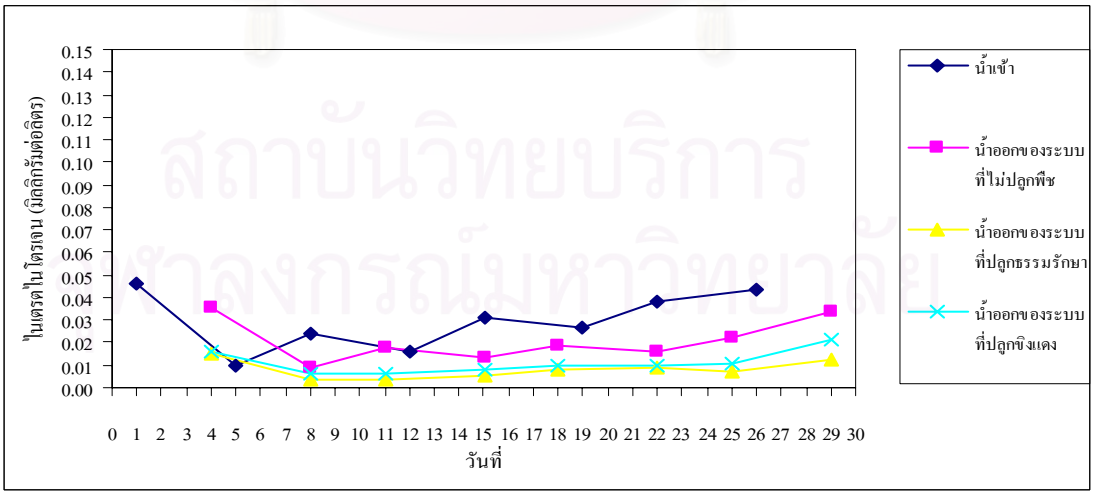
รูปที่ 4.7 ปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์



ก. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน

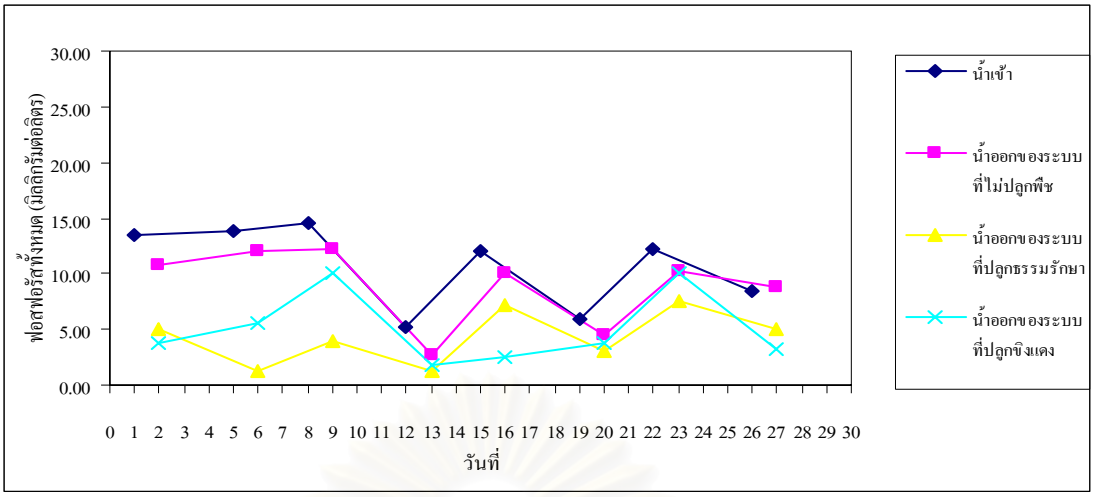


ข. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน

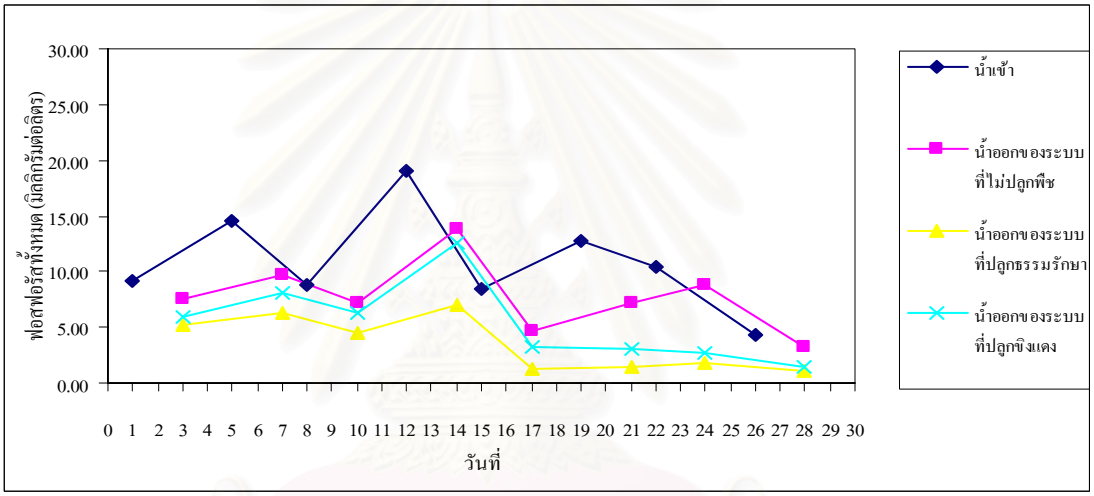


ค. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน

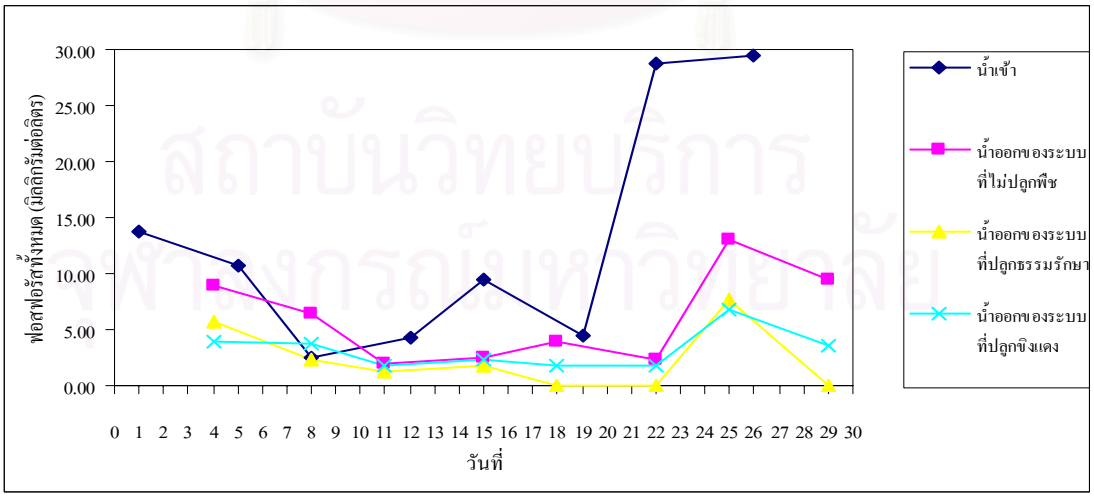
รูปที่ 4.8 ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์



ก. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน

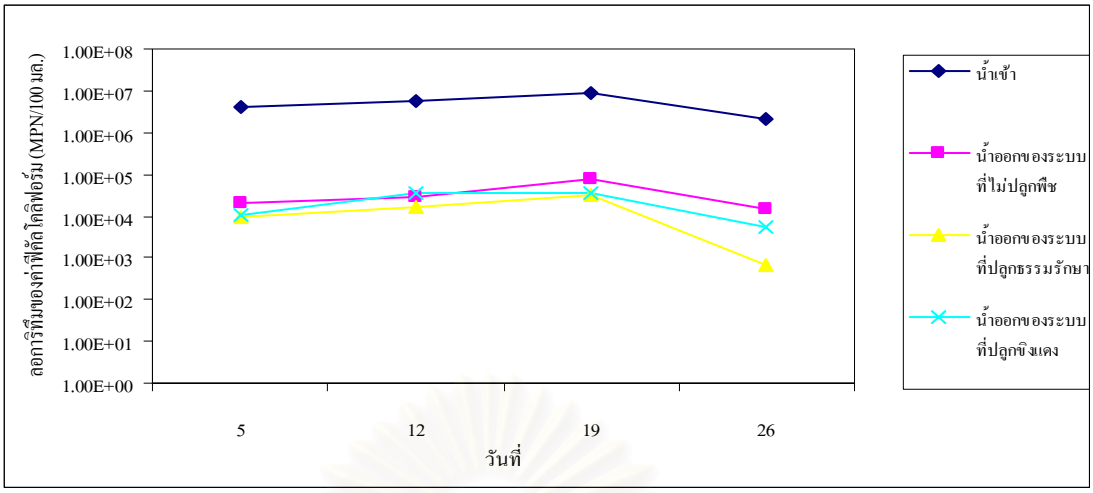


ข. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน

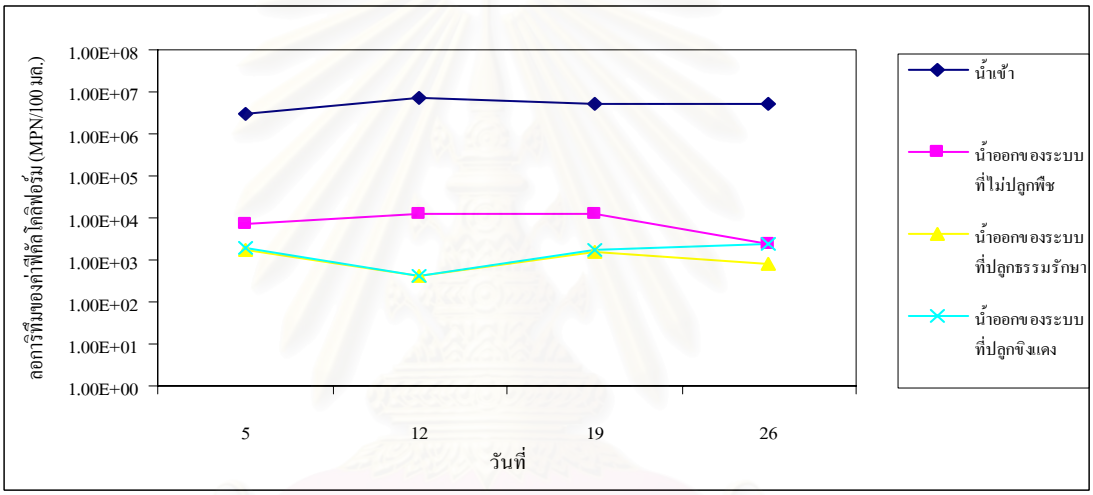


ค. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน

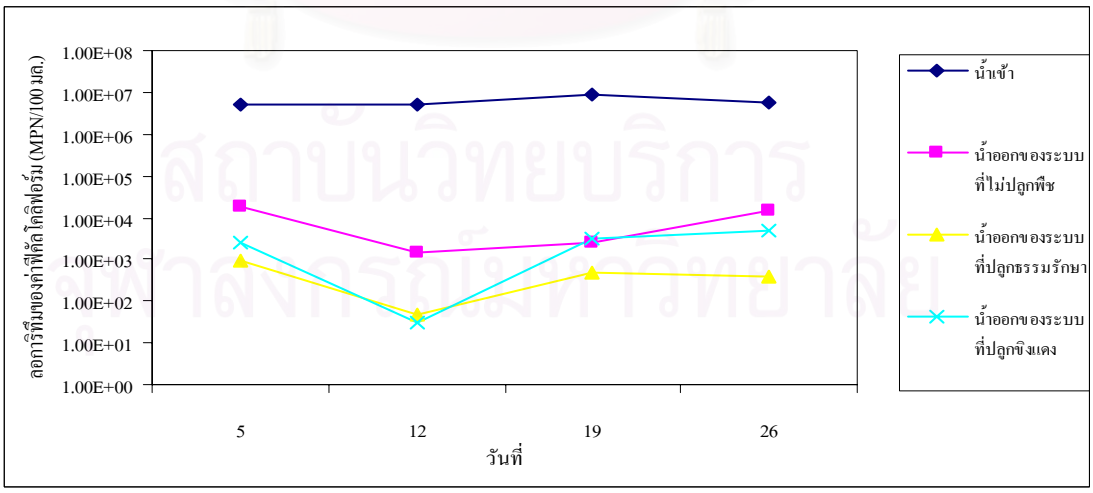
รูปที่ 4.9 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์



ก. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน



ข. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน

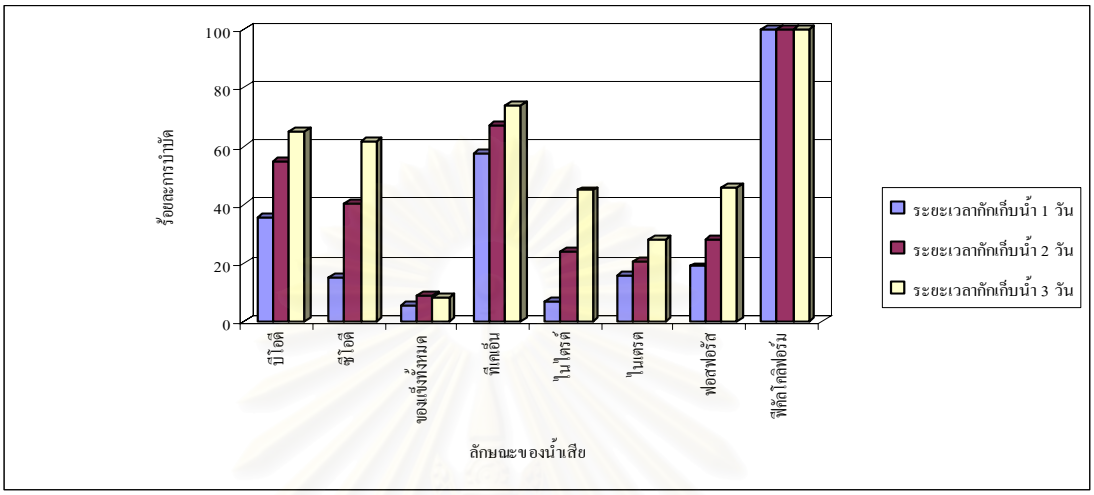


ค. ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน

รูปที่ 4.10 ลอการิทึมของค่าฟีคัลโคลิฟอร์มของน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์

4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืช

ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืชแสดงดังรูปที่ 4.11 และลักษณะของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืชดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืช

ตารางที่ 4.3 ลักษณะของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืช

ลักษณะ	ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน	ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน	ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน
พีเอช	7.29	7.22	7.55
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	27.75	27.81	28.06
บีโอดี (มก./ล.)	34.5	19.5	14.6
ซีโอดี (มก./ล.)	249.0	143.5	70.0
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	928.6	876.6	1032.5
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	34.7	30.5	30.1
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.004	0.038	0.006
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.05	0.01	0.02
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	8.91	7.78	6.09
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	34000	8500	9225

การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำในบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตัวกลางกับฟิล์มจุลินทรีย์ของตัวกลางมากกว่าเกี่ยวข้องกับพืช (Wenerick et al., 1989) ดังนั้นระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืชก็สามารถที่จะลดพีเอชในน้ำเสียได้ ส่วนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำโดยระบบบึงประดิษฐ์ขึ้นอยู่กับระยะเวลากักเก็บน้ำ กล่าวคืออุณหภูมิของน้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์มีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำลดลง

ระบบบึงประดิษฐ์ที่แม้จะไม่มีการปลูกพืช ก็สามารถบำบัดบีโอดีให้อยู่ในระดับมาตรฐานได้ ส่วนซีโอดีในน้ำทิ้งที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่ำยังพบว่ามีค่าสูงอยู่ โดยระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้นเมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำสูงขึ้น กล่าวคือระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันเป็นร้อยละ 35.52 55.00 และ 65.30 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 15.09 40.19 และ 61.85 ตามลำดับ เนื่องจากน้ำเสียมีเวลาในการสัมผัสกับชั้นตัวกลางมากขึ้น สารอินทรีย์จะเกิดการกรองและตกตะกอน รวมทั้งถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในชั้นตัวกลางได้มากขึ้น

สำหรับการบำบัดของแข็งทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน จะมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 5.38 8.95 และ 8.43 ตามลำดับ รวมทั้งปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำทิ้งยังมีค่าสูง อาจเนื่องจากของแข็งทั้งหมดในน้ำเข้ามีปริมาณสูงมาก ประกอบกับระยะเวลากักเก็บน้ำที่ใช้ในการทดลองยังไม่เพียงพอที่จะบำบัดของแข็งทั้งหมดให้มีค่าต่ำกว่านี้ได้

ไนโตรเจนในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปทีเคเอ็น เนื่องจากน้ำทิ้งจากบ่อเกรอะจะไม่มีไนเตรตเป็นองค์ประกอบ (Sherwood et al., 1995) ดังนั้นไนไตรต์ไนโตรเจนที่เป็น Intermediate Oxidation State ของไนโตรเจนก็จะพบในปริมาณน้อยมากด้วย (Kadlec and Knight, 1995) การกำจัดไนโตรเจนในระบบบึงประดิษฐ์จะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ในระบบที่มีปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันควบคู่กับปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (Rogers et al., 1985) ซึ่งระบบที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะการไหลของน้ำผสมผสานกัน ทั้งการไหลในแนวดิ่งและแนวนอนที่สนับสนุนการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันตามลำดับ ดังนั้นระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชก็สามารถบำบัดไนโตรเจนให้น้ำทิ้งมีปริมาณทีเคเอ็นไม่เกินมาตรฐานได้ โดยประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น ไนไตรต์ไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนสูงขึ้น เมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วัน ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นร้อยละ 57.26 66.86 และ 73.98 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรต์ไนโตรเจนร้อยละ 7.16 24.05 และ 44.89 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนของระบบเป็นร้อยละ 15.65 20.65 และ 28.42 ตามลำดับ

กลไกการบำบัดฟอสฟอรัสในระบบบึงประดิษฐ์ ได้แก่ กลไกการดูดซับ การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนและการตกตะกอนที่เกิดขึ้นในชั้นตัวกลาง รวมทั้งการนำไปใช้โดยพืชที่เกิดขึ้นน้อยมาก (Brix, 1993 a) ดังนั้นการใช้ตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวมากจะสนับสนุนให้ระบบสามารถบำบัดฟอสฟอรัสได้ดี ส่วนการศึกษาครั้งนี้ใช้ตัวกลางกรวดที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ พื้นที่ผิวของตัวกลางจึงมีน้อย ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสไม่สูงมากนัก แต่ระบบจะสามารถบำบัดได้ดีขึ้นหากเพิ่มมีระยะเวลากักเก็บน้ำในระบบมากขึ้น เพื่อให้น้ำเสียมีเวลาในการสัมผัสกับตัวกลางมากขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันเป็นร้อยละ 18.91 27.99 และ 45.72 ตามลำดับ

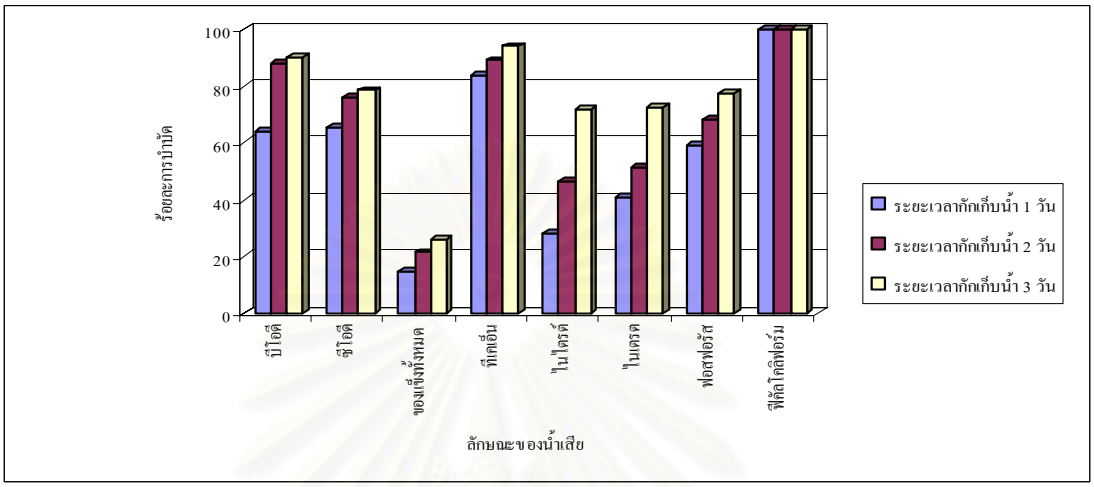
ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน อาศัยกลไกการดักจับและการกรองในการบำบัดเป็นหลัก (Sherwood et al., 1995) ดังจะเห็นได้จากประสิทธิภาพในการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มของระบบที่ไม่มีการปลูกพืชสูงกว่าร้อยละ 99 แต่น้ำทิ้งก็ยังมีปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มสูงอยู่ โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วัน ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 99.38 99.82 และ 99.83 ตามลำดับ

ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืชที่มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ซีโอดี ของแข็งทั้งหมด ทีเคเอ็น ไนไตรต์ไนโตรเจน ไนเตรตไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์มสูงสุดร้อยละ 65.30 61.85 8.43 73.98 44.88 28.42 45.72 และ 99.73 ตามลำดับ คือระบบที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน แม้ว่าน้ำทิ้งของระบบที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 และ 3 วันมีปริมาณสารปนเปื้อนในระดับต่ำ แต่ฟีคัลโคลิฟอร์มยังมีอยู่ในปริมาณสูง ดังนั้นระบบจึงไม่เหมาะสมในการใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษา

ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาเป็นดังรูปที่ 4.12 โดยน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดโดยระบบมีลักษณะดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษา

ตารางที่ 4.4 ลักษณะของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษา

ลักษณะ	ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน	ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน	ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน
พีเอช	7.19	7.08	7.35
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	27.44	27.13	27.88
บีโอดี (มก./ล.)	18.8	5.6	5.3
ซีโอดี (มก./ล.)	103.0	59.0	44.0
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	837.7	748.1	834.0
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	12.1	9.5	6.7
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.003	0.004	0.003
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.04	0.02	0.01
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	4.28	3.56	2.34
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	14800	1125	463

พีเอชในน้ำทิ้งจากระบบมีค่าใกล้เคียง 7 และมีค่าคงที่ทุกระยะเวลากักเก็บน้ำ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษา สามารถลดพีเอชของน้ำเสียในระบบได้ดี ส่วนการลดอุณหภูมิของน้ำภายในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาเกิดขึ้นได้ดี แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะเวลากักเก็บน้ำ ทั้งนี้อาจเนื่องจากอุณหภูมิในสภาพแวดล้อม และการที่ระบบได้รับแสงอาทิตย์ที่ไม่คงที่นั่นเอง

พืชโผล่พ้นน้ำเป็นองค์ประกอบหนึ่งในระบบบึงประดิษฐ์ที่มีความสำคัญ เพื่อเป็นพื้นที่ยึดเกาะสำหรับจุลินทรีย์ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์จะมีผลทำให้ระบบมีศักยภาพในการสะสมและเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์สูง (Brix, 1993 a) ดังนั้นการปลูกพืชในระบบจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์สูงขึ้น อีกทั้งสามารถบำบัดบีโอดีในน้ำเสียให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานด้วย สำหรับการเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำ จะมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ให้สูงขึ้น โดยระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วัน เป็นร้อยละ 63.90 87.96 และ 90.19 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 65.21 75.87 และ 78.45 ตามลำดับ

น้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาจะมีของแข็งทั้งหมดในปริมาณสูง อันเนื่องมาจากของแข็งในน้ำเสียส่วนใหญ่เป็นสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ เช่น เกลือแร่ ซึ่งระบบบึงประดิษฐ์ไม่สามารถบำบัดได้ (พิรัฐพล, 2544) แต่จะพบว่าเมื่อระบบมีระยะเวลากักเก็บน้ำเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดก็จะสูงขึ้นด้วย กล่าวคือที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดร้อยละ 14.67 21.59 และ 26.13 ตามลำดับ

เนื่องจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการทดลอง สามารถเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้ดี รวมทั้งการมีไนไตรต์ไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนในน้ำเข้าเป็นปริมาณน้อย ดังนั้นการปลูกพืชในระบบจะช่วยทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น ไนไตรต์ไนโตรเจน ไนเตรตไนโตรเจนจะสูงขึ้น เมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วัน ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นร้อยละ 83.82 88.98 และ 93.88 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรต์ไนโตรเจนร้อยละ 27.99 46.47 และ 71.60 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนของระบบเป็นร้อยละ 40.61 51.20 และ 72.59 ตามลำดับ

เนื่องจากการบำบัดฟอสฟอรัสส่วนใหญ่เกิดขึ้นในชั้นตัวกลาง การเพิ่มระยะเวลาการสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียและตัวกลางหรือการเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำ จะมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ นอกจากนี้การปลูกพืชจะช่วยเพิ่มกลไกการบำบัดฟอสฟอรัสอีกกลไกหนึ่ง คือการดูดดึงของพืช ที่มีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสโดยระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูก

ต้นธรรมรักษาสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันเป็นร้อยละ 59.00 68.15 และ 77.39 ตามลำดับ

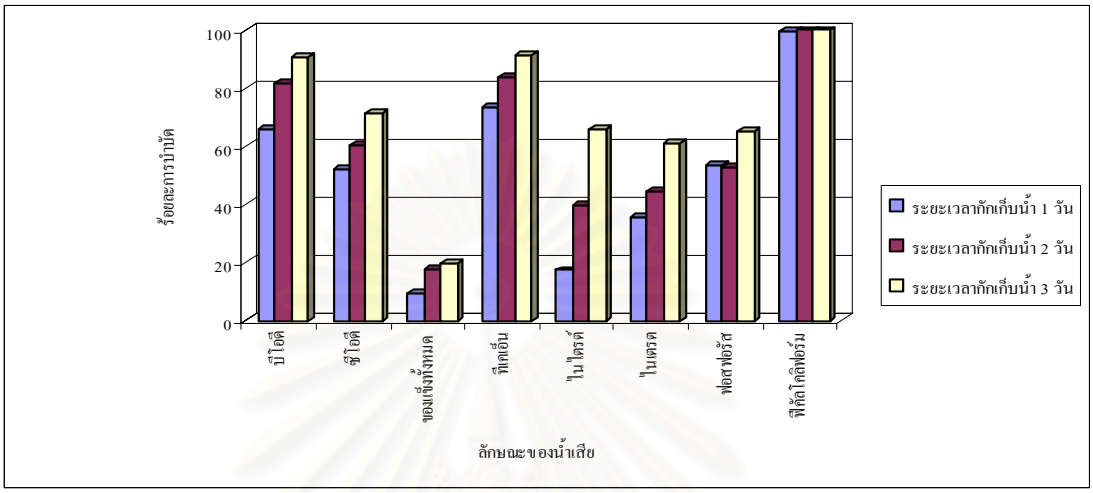
การบำบัดเชื้อก่อโรคมีกลไกที่สำคัญ คือการกรองและการตกตะกอน ดังนั้นการปลูกพืชในระบบบึงประดิษฐ์จะช่วยให้กลไกดังกล่าวเกิดได้ดีขึ้น ดังจะเห็นจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีประสิทธิภาพการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มสูงมากกว่าร้อยละ 99 ทุกระยะเวลากักเก็บน้ำ โดยระยะเวลากักเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วัน ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 99.77 99.97 และ 99.99 ตามลำดับ

ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาที่มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ซีโอดี ของแข็งทั้งหมด ทีเคเอ็น ไนไตรต์ไนโตรเจน ไนเตรตไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์มสูงสุดร้อยละ 90.19 78.45 26.13 93.88 71.60 72.59 77.39 และ 99.99 ตามลำดับ คือระบบที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำทิ้งของระบบ พบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่สูงกว่าระบบที่ไม่มีการปลูกพืช โดยเฉพาะทีเคเอ็นและฟีคัลโคลิฟอร์ม โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเพียง 1 วัน ก็สามารถบำบัดให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดีได้ แต่ยังมีปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มสูง ดังนั้นระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วันก็เพียงพอที่ระบบจะสามารถบำบัดน้ำทิ้งให้มีคุณภาพดีได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดง

ลักษณะน้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงเป็นดังตารางที่ 4.5 โดยระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดง

ตารางที่ 4.5 ลักษณะของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดง

ลักษณะ	ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน	ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน	ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน
พีเอช	7.22	7.15	7.43
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	27.44	27.50	28.00
บีโอดี (มก./ล.)	18.0	8.3	4.5
ซีโอดี (มก./ล.)	140.0	94.5	54.0
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	890.4	792.4	914.1
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	22.9	14.7	11.6
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.004	0.004	0.004
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.04	0.03	0.01
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	5.06	5.41	3.19
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	21925	1650	2608

พีเอชในน้ำทิ้งที่ทุกระยะเวลากักเก็บน้ำมีค่าใกล้เคียง 7 และค่อนข้างคงที่ ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงสามารถลดพีเอชของน้ำเสียได้ดี ส่วนการลดอุณหภูมิของน้ำภายในระบบก็เกิดขึ้นได้ดีเช่นกัน แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะเวลากักเก็บน้ำ ทั้งนี้อาจเนื่องจากอุณหภูมิในสภาพแวดล้อม และการที่ระบบได้รับแสงอาทิตย์ที่ไม่คงที่นั่นเอง

การปลูกพืชในระบบเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวยึดเกาะแก่จุลินทรีย์นั้น จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์สูงขึ้น อีกทั้งสามารถบำบัดบีโอดีในน้ำเสียให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานด้วย ส่วนการเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำ มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงให้เพิ่มสูงขึ้น โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วัน ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีร้อยละ 65.91 81.65 และ 90.88 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบเป็นร้อยละ 51.77 60.36 และ 71.48 ตามลำดับ

เนื่องจากส่วนใหญ่ของแข็งในน้ำเสียจะเป็นสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ ซึ่งระบบบึงประดิษฐ์ไม่สามารถบำบัดได้ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำทิ้งจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกขิงแดงจึงมีค่าสูง แต่จะพบว่าเมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดก็จะสูงขึ้นด้วย กล่าวคือที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วัน ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9.15 17.68 และ 19.77 ตามลำดับ

เนื่องจากระบบบึงประดิษฐ์ในการทดลองนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้ดี อีกทั้งยังมีปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนในน้ำเข้าน้อย ดังนั้นระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงจึงมีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนที่สูง เมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น ไนไตรต์ไนโตรเจน ไนเตรตไนโตรเจนจะสูงขึ้น ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วัน ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นร้อยละ 73.61 83.62 และ 91.17 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรต์ไนโตรเจนร้อยละ 17.27 39.40 และ 62.66 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนของระบบเป็นร้อยละ 35.64 44.74 และ 61.01 ตามลำดับ

เนื่องจากการบำบัดฟอสฟอรัสส่วนใหญ่เกิดขึ้นในชั้นตัวกลาง เพื่อให้น้ำเสียได้สัมผัสกับตัวกลาง ดังนั้นการเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำ จะมีผลทำให้ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสสูงขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันเป็นร้อยละ 53.34 52.44 และ 65.06 ตามลำดับ

การบำบัดเชื้อก่อโรคมีกลไกที่สำคัญ คือการกรองและการตกตะกอน ดังนั้นการปลูกพืชในระบบบึงประดิษฐ์จะช่วยให้กลไกดังกล่าวเกิดได้ดีขึ้น ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดง

มีประสิทธิภาพการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มสูงมากทุกระยะเวลากักเก็บน้ำ โดยระยะเวลากักเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วัน ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มร้อยละ 99.62 99.96 และ 99.96 ตามลำดับ แต่ทั้งนี้เนื่องจากน้ำที่เข้าระบบมีปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มที่สูงมาก ดังนั้นปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มในน้ำทิ้งจึงยังมีสูงมากเช่นกัน

ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดง ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วันมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ซีโอดี ของแข็งทั้งหมด ทีเคเอ็น ไนไตรต์ไนโตรเจน ไนเตรตไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์มสูงสุดร้อยละ 90.88 71.48 19.77 91.17 62.66 61.01 65.05 และ 99.96 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำทิ้งของระบบ พบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่สูงกว่าระบบที่ไม่มีการปลูกพืช โดยเฉพาะทีเคเอ็นและฟีคัลโคลิฟอร์ม โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเพียง 1 วันก็สามารถบำบัดให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดีได้ แต่เนื่องจากปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มในน้ำทิ้งยังมีอยู่สูง ดังนั้นระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วันก็เพียงพอที่ระบบจะสามารถบำบัดน้ำทิ้งให้มีคุณภาพดีได้

4.6 การเจริญเติบโตของพืช

4.6.1 การเจริญเติบโตของต้นธรรมรักษา

4.6.1.1 อัตราการเพิ่มความสูง

การศึกษาความสูงที่เพิ่มขึ้นของต้นธรรมรักษา จะเป็นอัตราความสูงที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยต่อ 1 Rhizome (จำนวนลำต้นที่แท้จริงของต้นหลักที่มีอยู่รวมกับหน่อใหม่ที่เกิดขึ้น) โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน ต้นธรรมรักษาจะมีอัตราเพิ่มความสูงในสัปดาห์ที่ 1 2 3 และ 4 คงที่เท่ากันคือ 0.02 เซนติเมตรต่อ Rhizome ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน ต้นธรรมรักษามีอัตราเพิ่มความสูงในสัปดาห์ที่ 1 2 3 และ 4 เป็น 0.03 0.03 0.04 และ 0.04 เซนติเมตรต่อ Rhizome ตามลำดับ ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ต้นธรรมรักษามีอัตราเพิ่มความสูงในสัปดาห์ที่ 1 2 3 และ 4 เป็น 0.03 0.03 0.02 และ 0.02 เซนติเมตรต่อ Rhizome ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.14

4.6.1.2 อัตราการเพิ่มจำนวนใบ

อัตราการเพิ่มจำนวนใบโดยเฉลี่ยต่อ 1 Rhizome ของต้นธรรมรักษาที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน ในสัปดาห์ที่ 1 2 3 และ 4 เป็น 0.03 0.03 0.02 และ 0.02 ใบต่อ Rhizome ตามลำดับ ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 และ 3 วัน ต้นธรรมรักษาจะมีอัตราการเพิ่มจำนวนใบที่คงที่ในสัปดาห์ที่ 1 – 3 และลดลงเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 4 ดังรูปที่ 4.15 โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน ต้นธรรมรักษา

มีอัตราการเพิ่มจำนวนใบในสัปดาห์ที่ 1 2 3 และ 4 เป็น 0.04 0.04 0.04 และ 0.03 ใบต่อ Rhizome ตามลำดับ และระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน จำนวนใบของต้นธรรมรักษามีอัตราเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 2 3 และ 4 เป็น 0.03 0.03 0.03 และ 0.02 ใบต่อ Rhizome ตามลำดับ

4.6.1.3 อัตราการเพิ่มจำนวนดอก

อัตราการเพิ่มจำนวนดอกของต้นธรรมรักษาที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างๆเป็นดังรูปที่ 4.16 โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน ต้นธรรมรักษามีอัตราเพิ่มจำนวนดอกในสัปดาห์ที่ 1 2 3 และ 4 เป็น 0.06 0.07 0.02 และ 0.02 ดอกต่อ Rhizome ตามลำดับ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน ต้นธรรมรักษามีอัตราเพิ่มจำนวนดอกที่คงที่ตลอดการทดลองคือมีอัตราเพิ่มเป็น 0.03 ดอกต่อ Rhizome ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ต้นธรรมรักษามีอัตราเพิ่มจำนวนดอกในสัปดาห์ที่ 1 2 3 และ 4 เป็น 0.03 0.05 0.02 และ 0.02 ดอกต่อ Rhizome ตามลำดับ

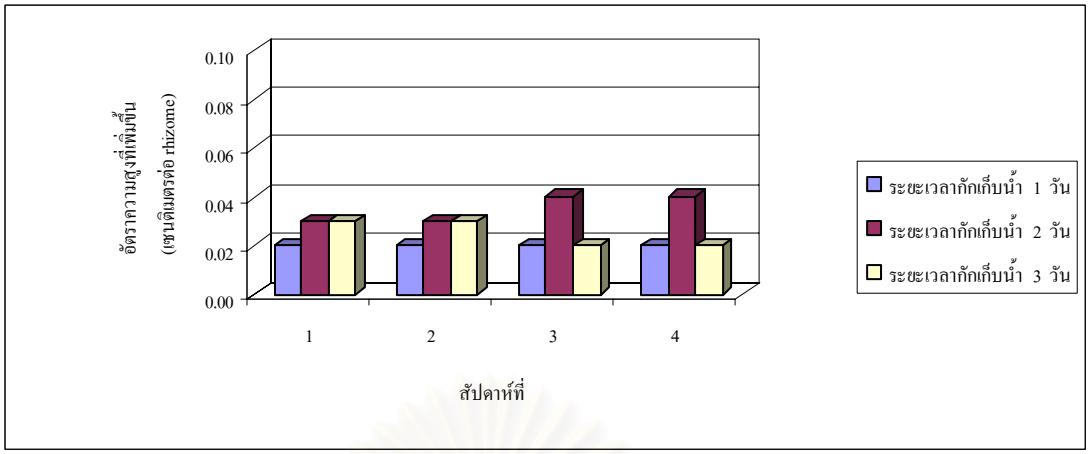
4.6.1.4 อัตราการเพิ่มจำนวนหน่อ

การศึกษาอัตราการเพิ่มจำนวนหน่อในระบบได้ผลดังรูปที่ 4.17 โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน หน่อของต้นธรรมรักษาจะมีอัตราเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 1 – 4 เป็นจำนวน 3 6 5 และ 6 หน่อต่อสัปดาห์ตามลำดับ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน จำนวนหน่อจะเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 เท่านั้นโดยเพิ่มเพียง 1 หน่อ และที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน จำนวนหน่อของต้นธรรมรักษาจะเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 1 – 4 เป็นจำนวน 1 1 5 และ 2 หน่อต่อสัปดาห์ตามลำดับ

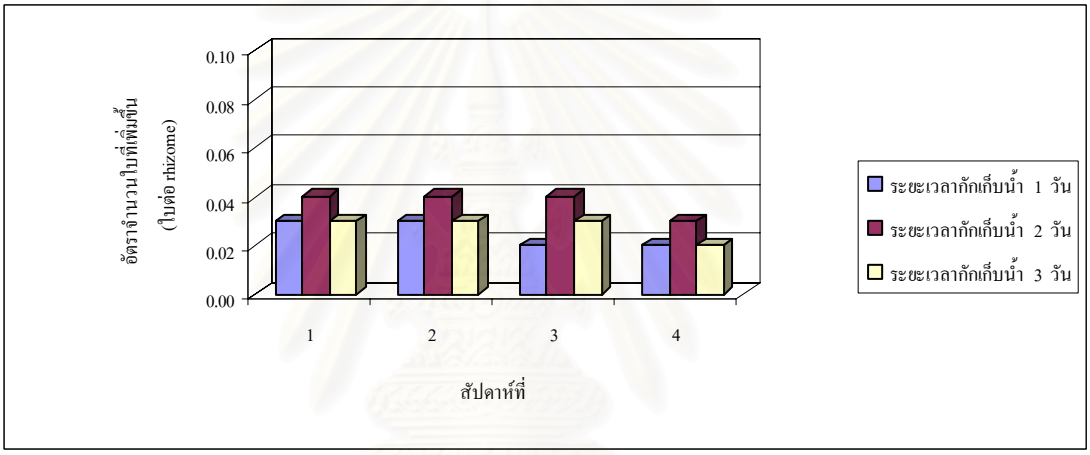
4.6.1.5 ผลของระยะเวลากักเก็บน้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นธรรมรักษา

จากการทดลองพบว่า อัตราการเพิ่มจำนวนหน่อเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวบ่งชี้การเจริญ เติบโตของต้นธรรมรักษา เนื่องจากต้นธรรมรักษาสามารถเพิ่มจำนวนหน่อจากต้นเดิมได้โดยไม่มีข้อจำกัด ส่วนจำนวนใบและดอกต่อต้นที่สามารถมีได้นั้นมีค่าไม่เกิน 5 ใบต่อต้นและ 1 ดอกต่อต้น ส่วนความสูงที่เพิ่มขึ้นนั้นสามารถเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยด้านอื่นๆได้ เช่น ปริมาณแสง เป็นต้น

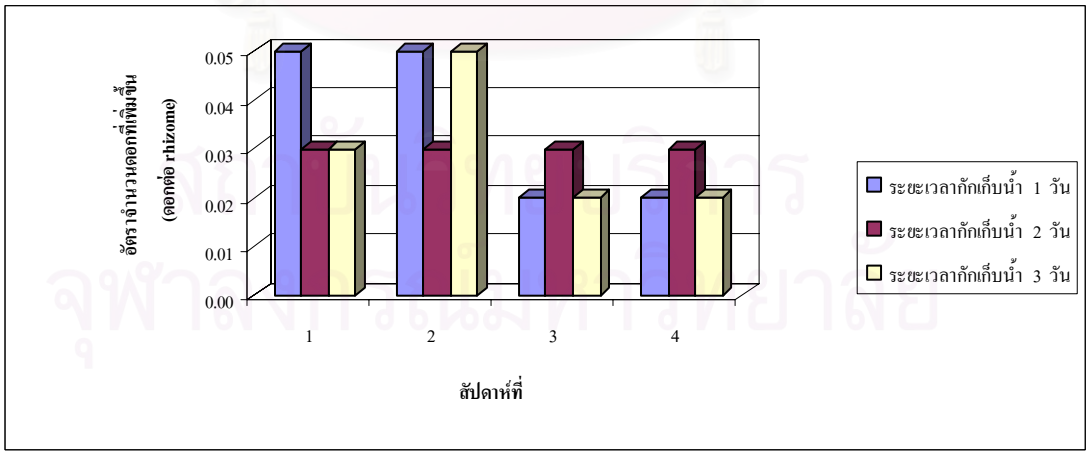
ระยะเวลากักเก็บน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน ต้นธรรมรักษาจะมีอัตราการเพิ่มจำนวนหน่อสูงที่สุด อาจเนื่องมาจากที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน ระบบจะได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชต่อวันในปริมาณที่สูง ส่วนการพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น ไนเตรตไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมดกับการเจริญเติบโตของต้นธรรมรักษาไม่มีความสัมพันธ์กัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากกลไกการนำธาตุอาหารไปใช้โดยพืชเกิดขึ้นไม่มาก



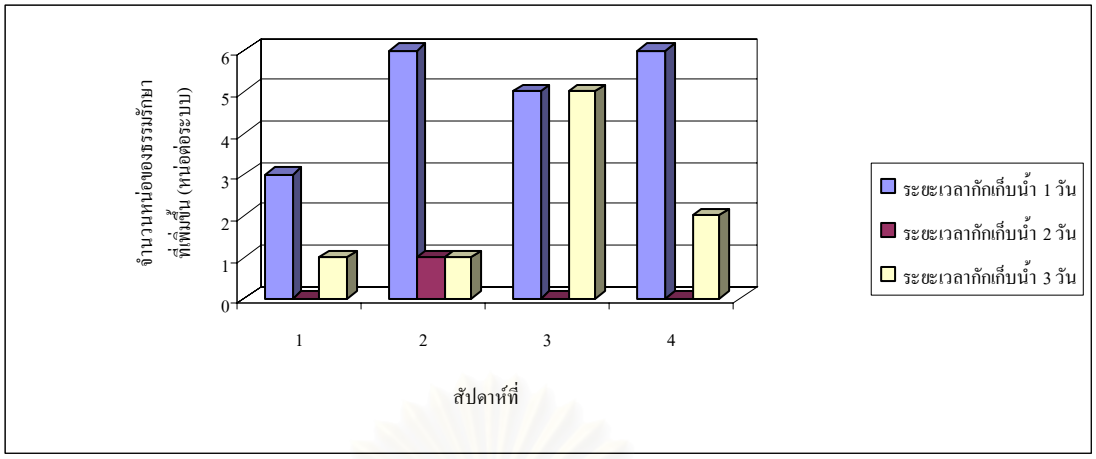
รูปที่ 4.14 อัตราความสูงที่เพิ่มขึ้นของต้นธรรมรักษา



รูปที่ 4.15 อัตราจำนวนใบที่เพิ่มขึ้นของต้นธรรมรักษา



รูปที่ 4.16 อัตราจำนวนดอกที่เพิ่มขึ้นของต้นธรรมรักษา



รูปที่ 4.17 อัตราจำนวนหน่อที่เพิ่มขึ้นของต้นธรรมรักษา

4.6.2 การเจริญเติบโตของต้นขิงแดง

4.6.2.1 อัตราการเพิ่มความสูง

ผลการศึกษาความสูงที่เพิ่มขึ้นของต้นขิงแดงเป็นดังรูปที่ 4.18 โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 และ 3 วัน ต้นขิงแดงจะมีอัตราเพิ่มความสูงในสัปดาห์ที่ 1 2 3 และ 4 คงที่เท่ากันคือ 0.03 เซนติเมตรต่อ Rhizome ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน ต้นขิงแดงมีอัตราเพิ่มความสูงในสัปดาห์ที่ 1 2 และ 3 คงที่เป็น 0.04 เซนติเมตรต่อ Rhizome ตามลำดับ แล้วจะมีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นเป็น 0.07 เซนติเมตรต่อ Rhizome ในสัปดาห์ที่ 4

4.6.2.2 อัตราการเพิ่มจำนวนใบ

อัตราการเพิ่มจำนวนใบของต้นขิงแดงที่ทุกระยะเวลากักเก็บน้ำจะช้าลงดังรูปที่ 4.19 เมื่อการทดลองผ่านไป กล่าวคือที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วันจะมีอัตราการเพิ่มเป็น 0.04 0.04 0.03 และ 0.03 ใบต่อ Rhizome จากสัปดาห์ที่ 1 – 4 ตามลำดับ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน ต้นขิงแดงมีอัตราการเพิ่มจำนวนใบในสัปดาห์ที่ 1 2 3 และ 4 เป็น 0.05 0.05 0.04 และ 0.02 ใบต่อ Rhizome ตามลำดับ และที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ต้นขิงแดงมีอัตราการเพิ่มจำนวนใบในสัปดาห์ที่ 1 2 3 และ 4 เป็น 0.05 0.05 0.04 และ 0.03 ใบต่อ Rhizome ตามลำดับ

4.6.2.3 อัตราการเพิ่มจำนวนดอก

อัตราการเพิ่มจำนวนดอกของต้นขิงแดงที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 และ 2 วัน ได้ผลเหมือนกัน คือมีอัตราการเพิ่มจำนวนดอกในสัปดาห์ที่ 1 2 3 และ 4 เป็น 0.02 0.02 0.02 และ 0.03 ดอกต่อ

Rhizome ตามลำดับ ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ต้นขิงแดงมีอัตราการเพิ่มจำนวนดอกในสัปดาห์ที่ 1 2 3 และ 4 เป็น 0.03 0.03 0.03 และ 0.02 ใบต่อ Rhizome ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.20

4.6.2.4 อัตราการเพิ่มจำนวนหน่อ

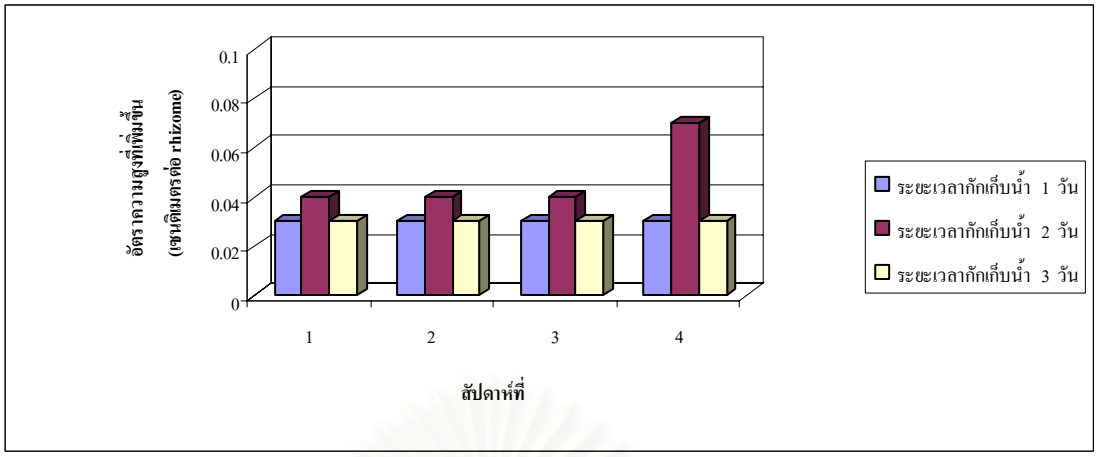
การศึกษาอัตราการเพิ่มจำนวนหน่อในระบบได้ผลดังรูปที่ 4.21 โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน หน่อของต้นขิงแดงจะเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 1 – 4 เป็นจำนวน 1 0 2 และ 1 หน่อต่อสัปดาห์ตามลำดับ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน จำนวนหน่อจะเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 1 – 4 เป็นจำนวน 1 1 0 และ 2 หน่อต่อสัปดาห์ตามลำดับ ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน จำนวนหน่อจะไม่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งสัปดาห์ที่ 4 จำนวนหน่อจะเพิ่มขึ้น 2 หน่อต่อสัปดาห์

4.6.2.5 ผลของระยะเวลากักเก็บน้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นขิงแดง

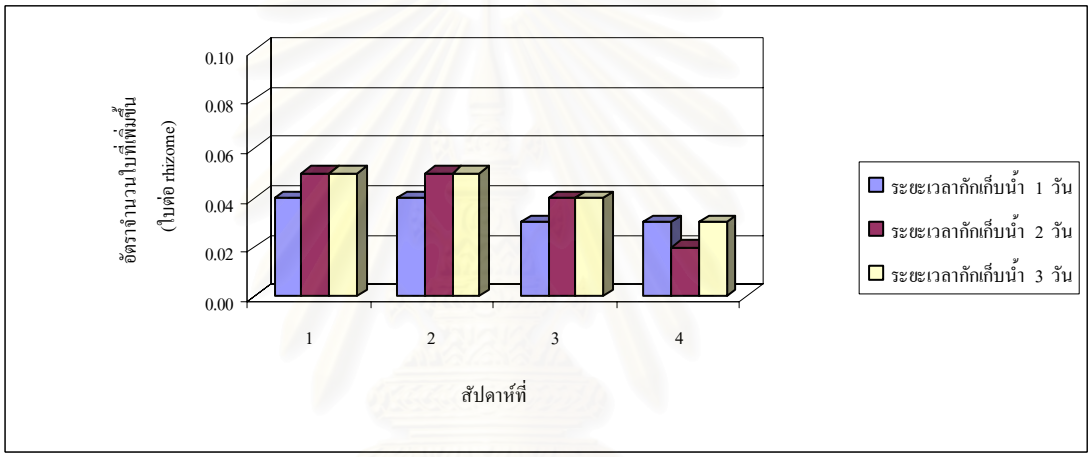
จากการทดลองพบว่า อัตราการเพิ่มจำนวนหน่อเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวบ่งชี้การเจริญ เติบโตของต้นขิงแดง เนื่องจากต้นขิงแดงสามารถเพิ่มจำนวนหน่อจากต้นเดิมได้โดยไม่มีข้อจำกัด ส่วนจำนวนใบและดอกต่อต้นสามารถมีได้เป็นจำนวนจำกัด ส่วนความสูงที่เพิ่มขึ้นนั้นสามารถเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยด้านอื่นๆได้ เช่น ปริมาณแสง เป็นต้น โดยในสภาวะของการทดลองจะพบว่าชุดการทดลองที่ปลูกขิงแดงนั้นอาจจะได้รับแสงน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นอีกด้วย

ระยะเวลากักเก็บน้ำที่ต่างกันไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน ต้นขิงแดงจะมีอัตราการเพิ่มจำนวนหน่อสูงที่สุด อาจเนื่องมาจากที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน ระบบจะได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชต่อวันในปริมาณที่เพียงพอ โดยพืชจะยอมรับอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ในระดับนี้ได้ ส่วนการพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น ไนเตรตไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมดกับการเจริญเติบโตของต้นขิงแดงไม่มีความสัมพันธ์กัน

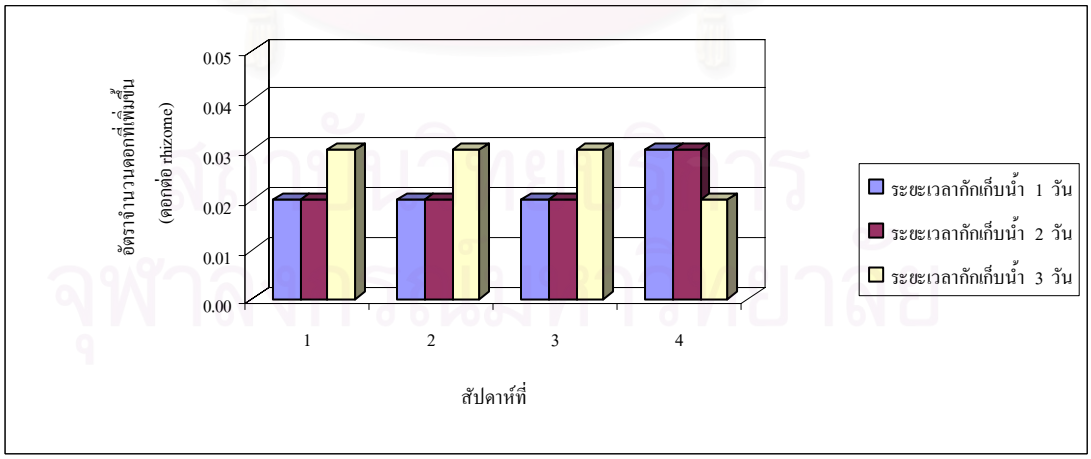
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



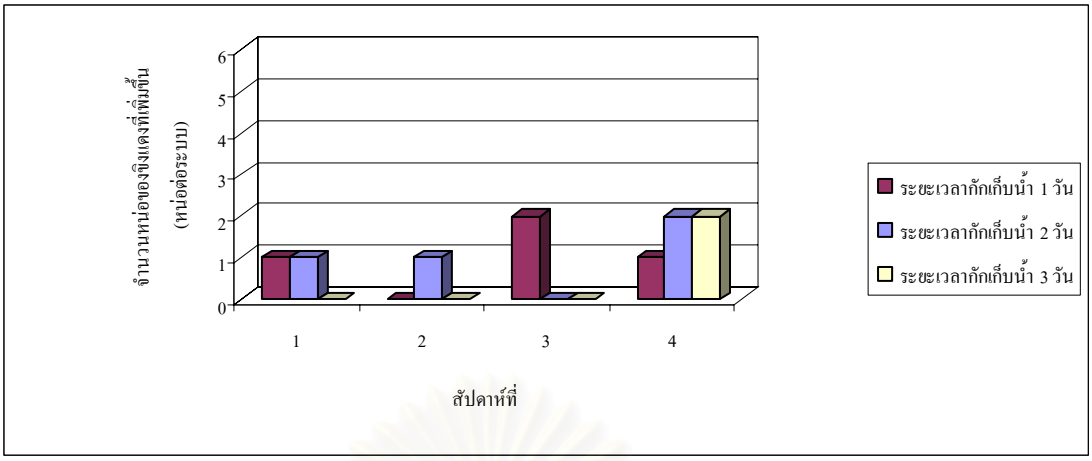
รูปที่ 4.18 อัตราความสูงที่เพิ่มขึ้นของต้นขิงแดง



รูปที่ 4.19 อัตราจำนวนใบที่เพิ่มขึ้นของต้นขิงแดง



รูปที่ 4.20 อัตราจำนวนดอกที่เพิ่มขึ้นของต้นขิงแดง



รูปที่ 4.21 อัตราจำนวนหน่อที่เพิ่มขึ้นของต้นขิงแดง

4.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.7.1 บีโอดี

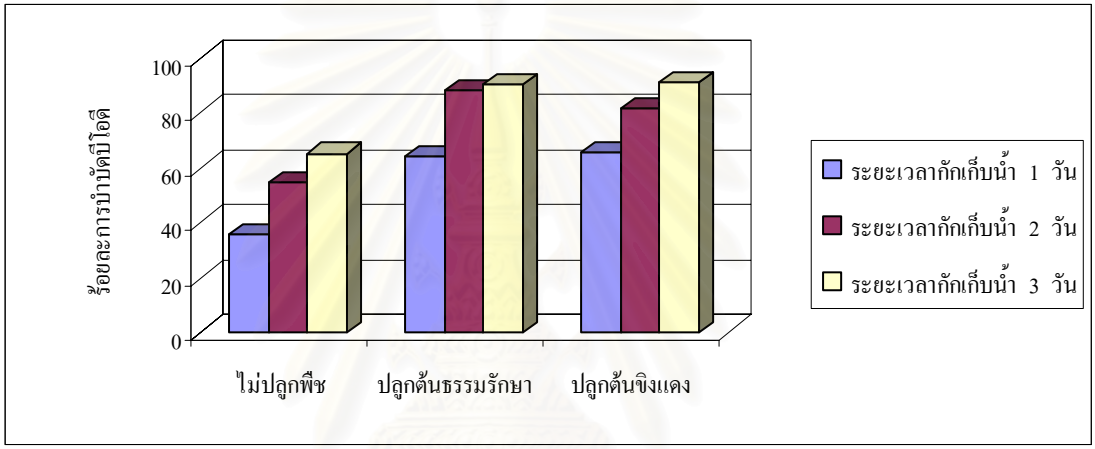
จากการทดลองประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ เป็นดังรูปที่ 4.22 ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืชมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันเป็นร้อยละ 35.52 55.00 และ 65.30 ตามลำดับ ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษา มีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 63.90 87.96 และ 90.19 ตามลำดับ ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงจะมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 65.91 81.65 และ 90.88 ตามลำดับ

ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชที่ทุกระยะเวลากักเก็บน้ำ มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีแตกต่างจากระบบที่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบต้องการก๊าซออกซิเจน โดยมีแหล่งออกซิเจนที่สำคัญในระบบจากรากพืช นอกจากนี้พืชยังมีส่วนในการเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการสะสม และเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์และธาตุอาหาร (Brix, 1993a) ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชทั้งสองชนิด มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชและระบบที่ปลูกต้นธรรมรักษาที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 1 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลาเก็บกัก 2 และ 3 วัน ในขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 2 และ 3 วัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงที่ทุกระยะเวลากักเก็บน้ำมีประสิทธิภาพการบำบัด

บีโอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สามารถสรุปได้ว่าที่ระยะเวลากักเก็บน้ำสูงขึ้นจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงขึ้น

โดยระบบที่มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีได้สูงสุดร้อยละ 90.88 ได้แก่ ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงและมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน นอกจากนี้จากผลการทดลองจะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีจะสูงขึ้นเมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำในระบบสูงขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบเกิดขึ้นในชั้นตัวกลางแบบใช้อากาศ ที่จะถูกจำกัดด้วยปริมาณอากาศที่ถ่ายเทลงสู่ชั้นตัวกลาง ซึ่งจะมีค่าคงที่ ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงลดลงเมื่ออัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เพิ่มขึ้น (Howard et al., 1999)



รูปที่ 4.22 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์

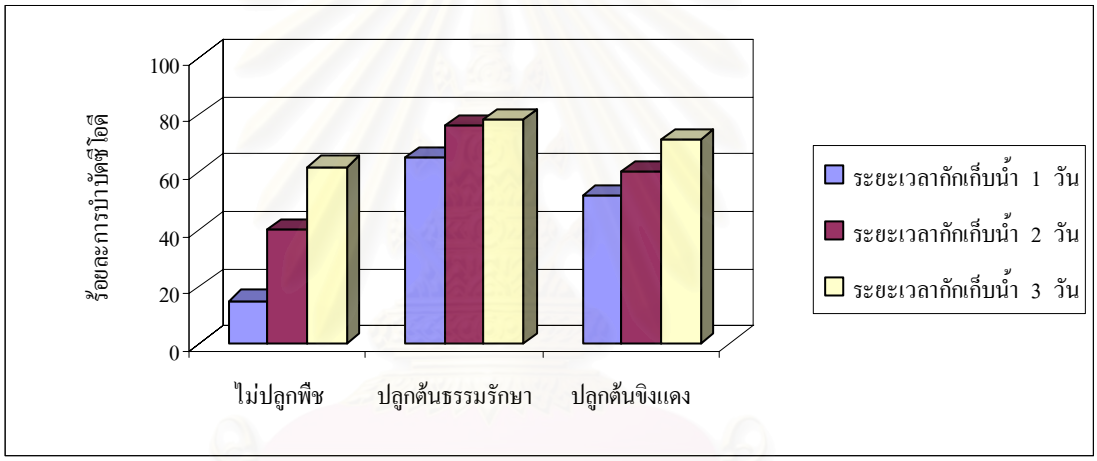
4.7.2 ซีโอดี

ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์เป็นดังรูปที่ 4.23 ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืชมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันเป็นร้อยละ 15.09 40.19 และ 61.85 ตามลำดับ ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 65.21 75.87 และ 78.45 ตามลำดับ ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงจะมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 51.77 60.36 และ 71.48 ตามลำดับ

ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างจากระบบที่ปลูกขิงแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 และ 2 วัน ระบบทั้งสามมีประสิทธิภาพการบำบัดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืช และระบบที่ปลูกต้นขิงแดงที่ทุกระยะเวลากักเก็บน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วันมีประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างจากระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 และ 3 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 และ 3 วัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

โดยระบบที่สามารถบำบัดซีโอดีได้สูงสุด คือ ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ทั้งนี้เนื่องจากรากของต้นธรรมรักษาอาจมีอัตราการถ่ายเทออกซิเจนที่มีบทบาทสำคัญต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงกว่าขิงแดง ผนวกกับการกักเก็บน้ำที่สูงที่มีผลทำให้การกรองโดยตัวกลางมีประสิทธิภาพสูงขึ้น



รูปที่ 4.23 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์

4.7.3 ของแข็งทั้งหมด

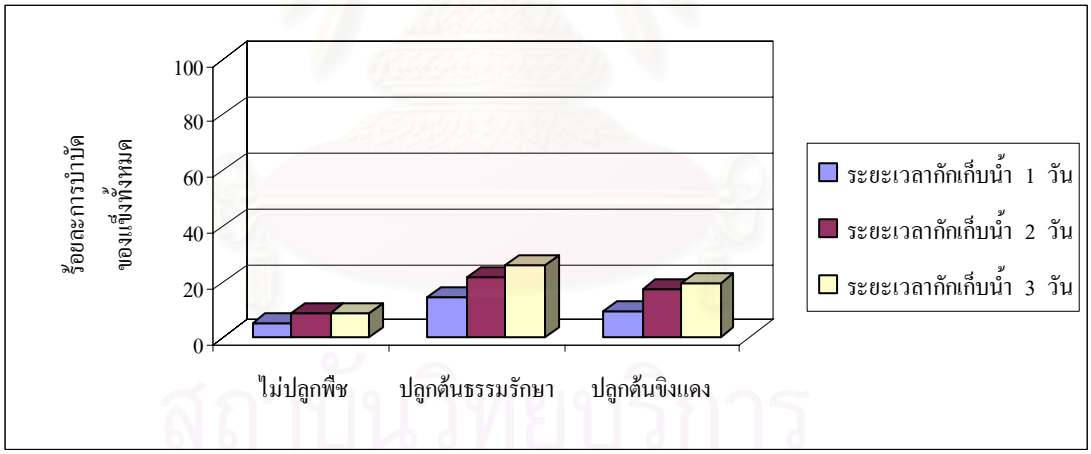
ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์เป็นดังรูปที่ 4.24 ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืช มีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งทั้งหมดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันเป็นร้อยละ 5.38 8.95 และ 8.43 ตามลำดับ ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 14.67 21.59 และ 26.13 ตามลำดับ ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงจะมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 9.15 17.68 และ 19.77 ตามลำดับ

ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดแตกต่างจากระบบที่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ

2 และ 3 วัน ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน ระบบที่ไม่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างจากระบบที่ปลูกต้นขิงแดง แต่แตกต่างจากระบบที่ปลูกต้นธรรมรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดที่ทุกระยะเวลากักเก็บน้ำของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบที่ปลูกต้นขิงแดงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ที่ทุกระยะเวลากักเก็บน้ำไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนระบบที่ปลูกต้นธรรมรักษาและต้นขิงแดง มีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วันแตกต่างจากที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 และ 3 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 และ 3 วันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ระบบที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด ได้แก่ ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษา ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 26.13 ซึ่งมีค่าไม่สูงมากนัก อาจเนื่องจากระบบไม่สามารถบำบัดสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้



รูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์

4.7.4 ทีเคเอ็น

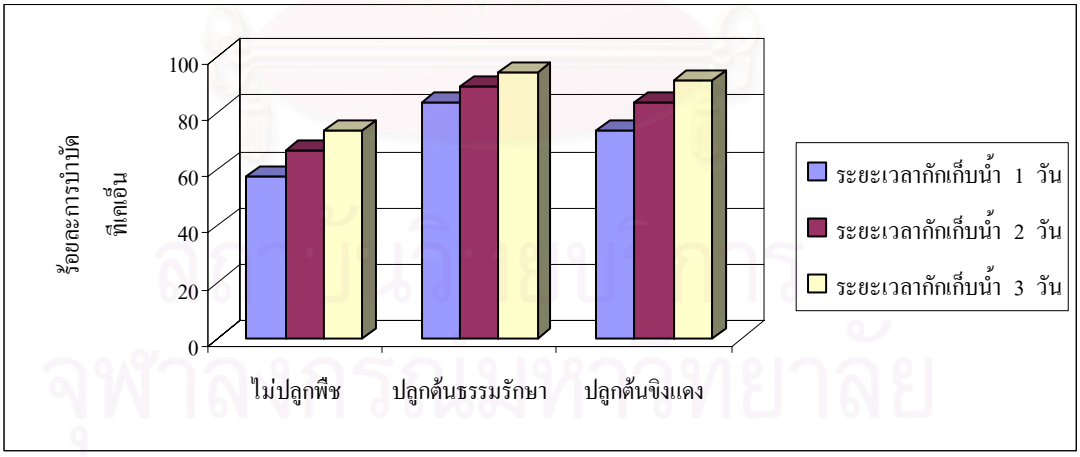
ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์เป็นดังรูปที่ 4.25 ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืชมีประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันเป็นร้อยละ 57.26 66.86 และ 73.98 ตามลำดับ ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 83.82 88.98 และ 93.88 ตามลำดับ ส่วน

ระบบ บึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงจะมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 73.61 83.62 และ 91.17 ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นระบบบึงประดิษฐ์ทั้งสามระบบที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน แตกต่างจากที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 และ 3 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในขณะที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 และ 3 วันมีประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกัน ที่ทุกระยะเวลากักเก็บน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนระบบที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบที่ปลูกต้นขิงแดงมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วันไม่แตกต่างจากระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน และที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วันไม่แตกต่างจากระยะเก็บกักน้ำ 3 วัน ในขณะที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วันแตกต่างจากระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ระบบที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด คือ ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน เนื่องจากระบบที่มีการปลูกพืชจะมีบริเวณรากพืชที่เป็นสภาวะแอน็อกซิกและเหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรต ไนโตรเจนในระบบจึงถูกกำจัดออกไปได้มาก



รูปที่ 4.25 ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์

4.7.5 ไนไตรต์ไนโตรเจน

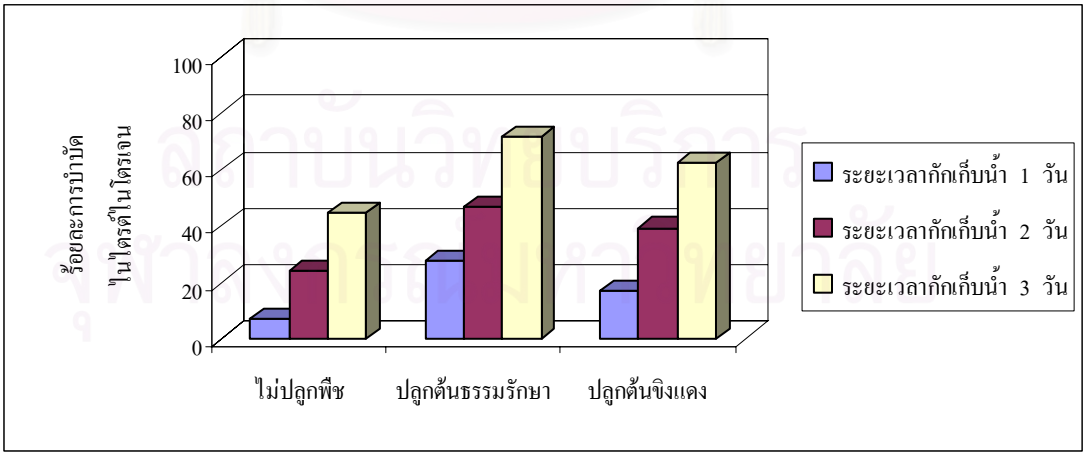
ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรต์ไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์เป็นดังรูปที่ 4.26 ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืช มีประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรต์ไนโตรเจนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ

1 2 และ 3 วันเป็นร้อยละ7.16 24.05 และ 44.80 ตามลำดับ ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 27.99 46.74 และ 71.60 ตามลำดับ ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงจะมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 17.27 39.40 และ 62.66 ตามลำดับ

ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วันมีประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรต์ไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ทั้งสามระบบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วันประสิทธิภาพการบำบัดของระบบที่ไม่ปลูกพืชแตกต่างจากระบบที่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในขณะที่ระบบที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบที่ปลูกต้นขิงแดง มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ระบบที่ไม่ปลูกพืชไม่แตกต่างจากระบบที่ปลูกต้นขิงแดง และระบบที่ปลูกต้นขิงแดงไม่แตกต่างจากระบบที่ปลูกต้นธรรมรักษา แต่ระบบที่ไม่ปลูกพืชแตกต่างจากระบบที่ปลูกธรรมรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรต์ไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ทั้งสามระบบที่ทุกระยะเวลากักเก็บน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เนื่องจากไนไตรต์เป็นสารที่ไม่เสถียร ดังนั้นน้ำในระบบจึงมีปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนน้อยมาก โดยระบบจะสามารถบำบัดไนไตรต์ไนโตรเจนได้ดีที่ระยะเวลากักเก็บน้ำที่สูง ระบบที่สามารถบำบัดไนไตรต์ไนโตรเจนได้สูงสุด คือ ระบบที่ปลูกธรรมรักษาที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน เนื่องจากการปลูกพืชจะส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันมากขึ้น



รูปที่ 4.26 ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรต์ไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์

4.7.6 ไนเตรตไนโตรเจน

ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์เป็นดังรูปที่ 4.27 ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืชมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันเป็นร้อยละ 15.65 20.65 และ 28.42 ตามลำดับ ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 40.61 51.20 และ 72.59 ตามลำดับ ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงจะมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 35.64 44.74 และ 61.01 ตามลำดับ

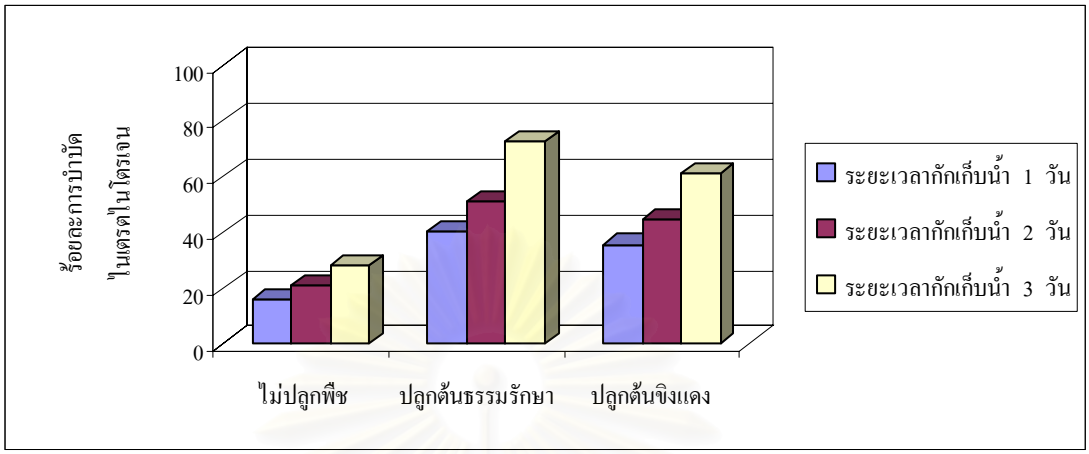
ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 และ 2 วัน ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนแตกต่างจากระบบที่มีการปลูกพืช อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบที่ปลูกต้นขิงแดงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วันประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ทั้งสามระบบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 และ 2 วัน ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนแตกต่างจากระบบที่ปลูกพืช ในขณะที่ระบบที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบที่ปลูกขิงแดง มีประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ระบบบึงประดิษฐ์ทั้งสามระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชและระบบที่ปลูกขิงแดง มีประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1วันไม่แตกต่างจากที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน และที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วันไม่แตกต่างจากที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน แต่ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วันแตกต่างจากที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีประสิทธิภาพการบำบัด ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 และ 2 วันไม่แตกต่างกัน แต่ประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 และ 2 วัน แตกต่างจากที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เนื่องจากระบบที่ทดลองเป็นระบบน้ำไหลใต้ดิน ดังนั้นจึงมีสภาวะไร้อากาศที่สนับสนุนการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่เปลี่ยนไนเตรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจน โดยประสิทธิภาพการบำบัดจะสูงขึ้นเมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำสูงขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนสูงสุดเกิดขึ้นในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน โดยพบว่าระบบบึงประดิษฐ์

ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและต้นขิงแดง มีประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 และ 2 วัน



รูปที่ 4.27 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์

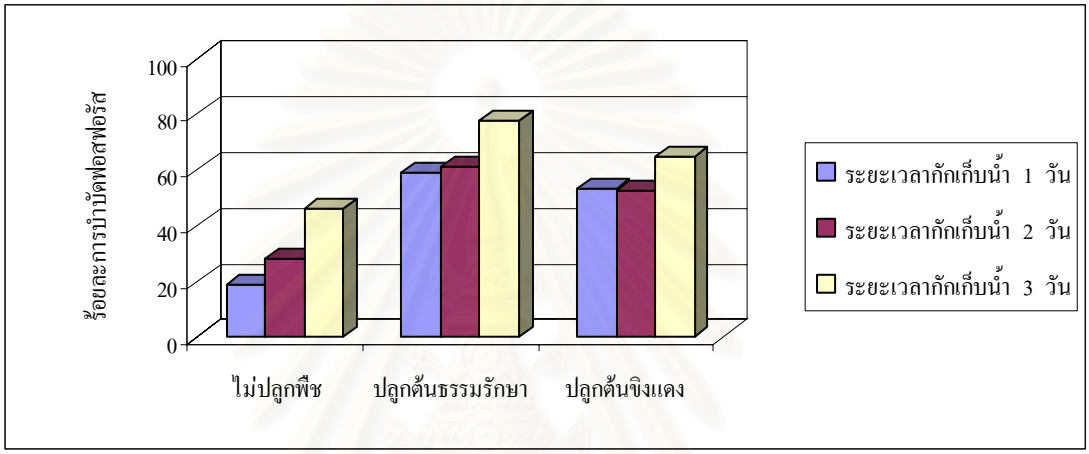
4.7.7 ฟอสฟอรัสทั้งหมด

ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์เป็นดังรูปที่ 4.28 ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืชมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันเป็นร้อยละ 18.91 27.99 และ 45.72 ตามลำดับ ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 59.00 61.15 และ 77.39 ตามลำดับ ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงจะมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 53.34 52.44 และ 65.05 ตามลำดับ

ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วัน ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดแตกต่างจากระบบที่ปลูกพืช เนื่องจากพืชมีส่วนในการนำฟอสฟอรัสไปใช้ในการเจริญเติบโต ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำออกจึงมีค่าลดลงได้ โดยที่ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่แตกต่างจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 และ 2 วันไม่แตกต่างกัน แต่ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 และ 2 วันแตกต่างจากระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ส่วนระบบที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การบำบัดฟอสฟอรัสของระบบบึงประดิษฐ์ เกิดจากการดูดซับฟอสเฟตด้วยประจุบวกบนผิวตัวกลาง ดังนั้นการใช้กรวดที่มีประจุบวกอยู่บนผิวน้อยเป็นตัวกลาง ทำให้การดูดซับฟอสเฟตที่ผิวเกิดขึ้นน้อย ประสิทธิภาพการบำบัดจึงไม่สูงนัก นอกจากนี้การปลูกพืชในระบบบึงประดิษฐ์อาจมีผลต่อการบำบัดฟอสฟอรัส อันเนื่องจากการเกิดกระบวนการทางชีวภาพที่เปลี่ยนฟอสเฟตให้เป็นสารอนินทรีย์ เช่น ไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{3-}) ที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ และเมื่อพืชตายลงฟอสฟอรัสก็ยังคงสะสมอยู่ในซากพืชนั้น ดังจะเห็นได้จากประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงสุดเกิดขึ้นในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษา ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน



รูปที่ 4.28 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์

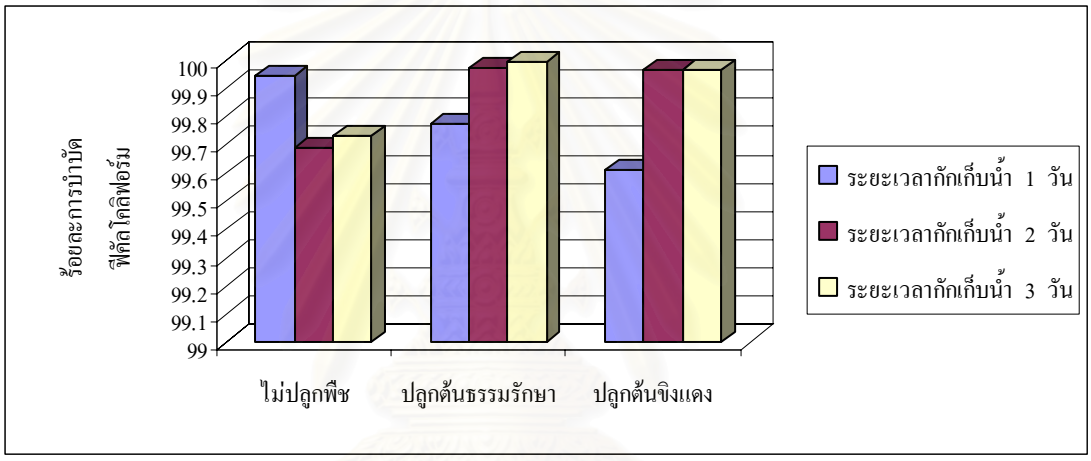
4.7.8 ฟีคัลโคลิฟอร์ม

ประสิทธิภาพการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มของระบบบึงประดิษฐ์เป็นดังรูปที่ 4.29 ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืชมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันเป็นร้อยละ 99.94 99.69 และ 99.73 ตามลำดับ ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษามีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 99.77 99.97 และ 99.99 ตามลำดับ ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดงจะมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 2 และ 3 วันร้อยละ 99.61 99.96 และ 99.96 ตามลำดับ

ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 และ 2 วัน ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มแตกต่างจากระบบที่ปลูกพืช ในขณะที่ระบบที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบที่ปลูกต้นขิงแดงมีประสิทธิภาพการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ระบบบึงประดิษฐ์ทั้งสามระบบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช มีประสิทธิภาพการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มที่ทุกระยะเวลากักเก็บน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนระบบบึงที่ปลูกต้นธรรมรักษาและระบบที่ปลูกต้นขิงแดงที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วันมีประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างจากที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 และ 3 วัน ในขณะที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 และ 3 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ระบบบึงประดิษฐ์ทั้งในระบบที่มีและไม่มีการปลูกพืช มีประสิทธิภาพในการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มที่สูง โดยระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและต้นขิงแดงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 4.29 ประสิทธิภาพการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มของระบบบึงประดิษฐ์

4.7.9 ระบบบึงประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพบำบัดสูงสุด

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดระหว่างระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืช ปลูกต้นธรรมรักษา และปลูกต้นขิงแดง ดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.30 สามารถสรุปได้ว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วันมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด

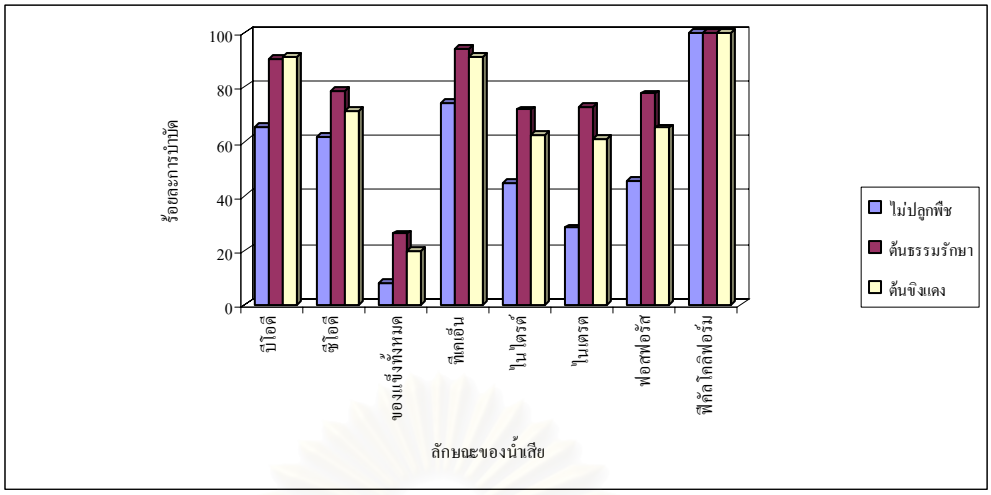
ส่วนการเปรียบเทียบลักษณะของน้ำทิ้งจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืช ปลูกต้นธรรมรักษา และปลูกต้นขิงแดง ดังตารางที่ 4.7 สามารถสรุปได้ว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วันมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดเช่นกัน

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการปลูกพืชต่างกัน

ลักษณะ	ประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละของระบบบึงประดิษฐ์		
	ไม่ปลูกพืช HRT 3 วัน	ธรรมรักษา HRT 3 วัน	ขิงแดง HRT 3 วัน
บีโอดี	65.30	90.19	90.88
ซีโอดี	61.85	78.45	71.48
ของแข็งทั้งหมด	8.43	26.13	19.77
ทีเคเอ็น	73.98	93.88	91.17
ไนไตรต์ไนโตรเจน	44.80	71.60	62.66
ไนเตรตไนโตรเจน	28.42	72.59	61.01
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	45.72	77.39	65.05
ฟีคัลโคลิฟอร์ม	99.73	99.99	99.96

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบลักษณะของน้ำทิ้งจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการปลูกพืชต่างกัน

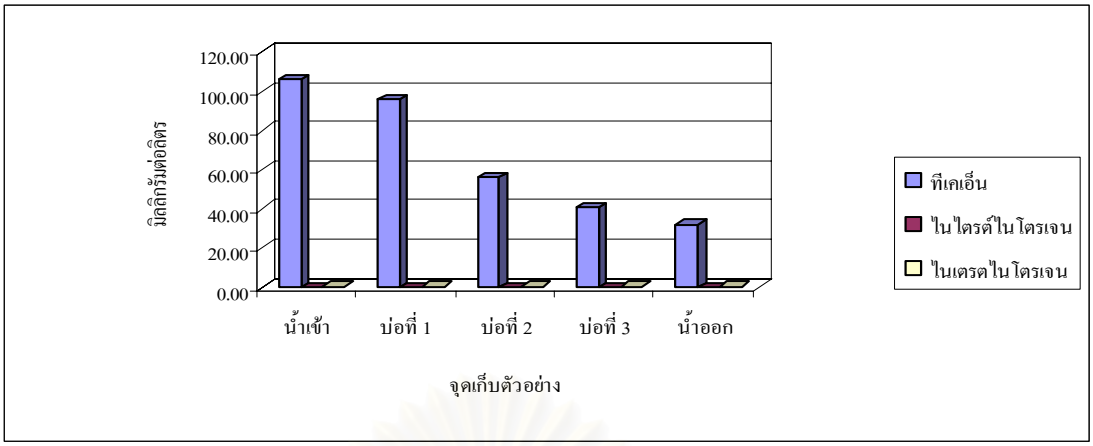
ลักษณะ	ปริมาณสารปนเปื้อนในน้ำทิ้งของระบบบึงประดิษฐ์		
	ไม่ปลูกพืช HRT 3 วัน	ธรรมรักษา HRT 3 วัน	ขิงแดง HRT 3 วัน
บีโอดี (มก./ล.)	14.6	5.3	4.5
ซีโอดี (มก./ล.)	70.0	44.0	54.0
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	1032.5	834.0	914.1
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	30.1	6.7	11.6
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.006	0.003	0.004
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.02	0.01	0.01
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	6.09	2.34	3.19
ฟีคัลโคลิฟอร์ม	9225	463	2608



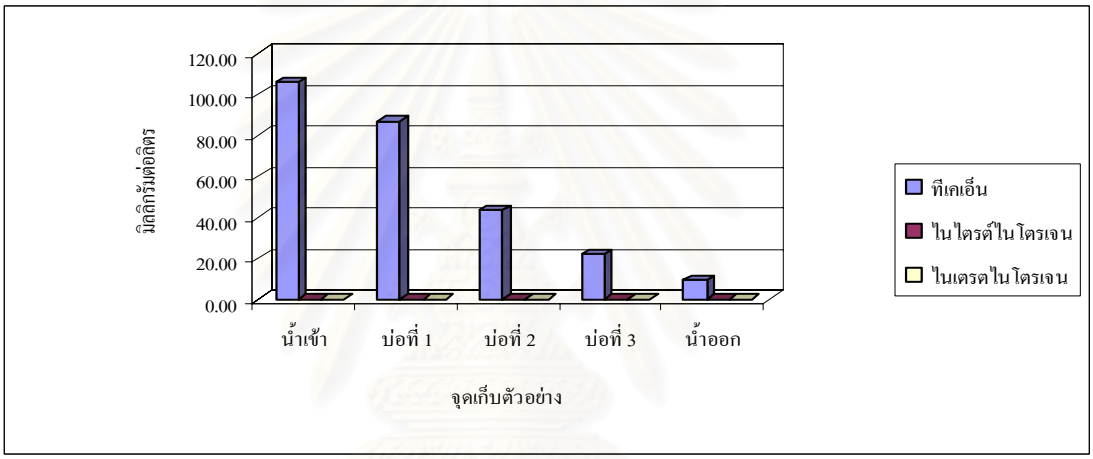
รูปที่ 4.30 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน

4.7.10 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในระบบ

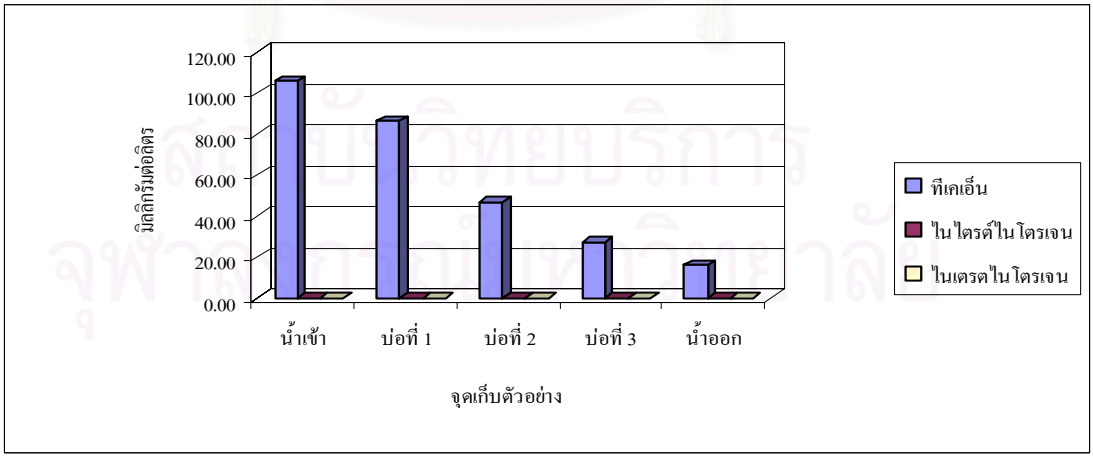
น้ำเสียในระบบบึงประดิษฐ์ทั้งสามระบบที่ทุกระยะเวลากักเก็บน้ำ มีปริมาณทีเคเอ็น ไนไตรต์ไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนลดลงจากทางน้ำเข้าจนถึงทางน้ำออก ดังรูปที่ 4.31 4.32 และ 4.33 เนื่องจากในแต่ละบ่อของชุดการทดลอง จะมีทั้งสภาวะที่มีอากาศซึ่งอยู่ต่ำกว่าผิวบนของชั้นตัวกลางเล็กน้อยและสภาวะไร้อากาศที่บริเวณพื้นล่างของบ่อที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่สามารถออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนเตรต และปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่เปลี่ยนไนเตรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจน ทำให้ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนออกจากระบบได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้จะพบว่าในระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการปลูกพืช จะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งสามรูปดังกล่าวลดลงมากกว่าในระบบที่ไม่ปลูกพืช จะเห็นได้จากน้ำเสียที่ผ่านบ่อที่มีการปลูกพืชจะมีปริมาณทีเคเอ็นลดลงเป็นสัดส่วนที่สูงกว่าน้ำเสียที่ไม่ผ่านบ่อที่ปลูกพืช โดยระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาจะมีปริมาณทีเคเอ็น ไนไตรต์ไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจนในน้ำเสียแต่ละจุดของชุดการทดลองต่ำกว่าน้ำเสียในระบบอื่นๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากรากของธรรมรักษามีพื้นที่ผิวสำหรับจุลินทรีย์ยึดเกาะมาก และสามารถถ่ายเทออกซิเจนไปสู่บริเวณรอบๆรากได้ดีกว่าขิงแดง ทำให้รอบๆรากของธรรมรักษามีสภาวะที่มีอากาศเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน รวมทั้งอาจมีความสามารถการนำธาตุอาหารเหล่านี้ไปใช้ได้สูงกว่าขิงแดง



รูปที่ 4.31 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนภายในระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่มีการปลูกพืช



รูปที่ 4.32 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนภายในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษา



รูปที่ 4.33 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนภายในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นขิงแดง

4.7.11 การศึกษาความเหมาะสมในการใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเป็นระบบบำบัดขั้นที่สามในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

4.7.11.1 ความเหมาะสมด้านค่าใช้จ่าย

ค่าลงทุนก่อสร้างระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแบ่งเป็นค่าอุปกรณ์ก่อสร้าง ค่าเครื่องมือและอุปกรณ์ดังตารางที่ 4.8 และทำการศึกษาความเหมาะสมในการลงทุนเพื่อบำบัดน้ำเสีย โดยระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่พิจารณาจากค่าดำเนินการและบำรุงรักษาดังตารางที่ 4.9 พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่รับน้ำเสียจากที่พักอาศัย 1 ลูกบาศก์เมตรต่อวันมีค่าใช้จ่ายประมาณ 4.60 บาทต่อลูกบาศก์เมตร โดยถ้ามีการปรับปรุงวิธีการรวบรวมน้ำเสียโดยไม่ต้องใช้เครื่องสูบน้ำจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียลงได้ นอกจากนี้ระบบอาจมีค่าตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ที่ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษา หากมีการเก็บเกี่ยวพืชในระบบในช่วงที่ให้ดอก โดยดอกธรรมรักษามีราคา 10 บาทต่อดอก และดอกขิงแดงราคา 5-8 บาทต่อดอก (ปรัชญา, 2546)

ตารางที่ 4.8 ค่าลงทุนก่อสร้างระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน

ประเภทของค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่าย (บาท)
1. ค่าอุปกรณ์การก่อสร้าง	1,000
2. ค่าเครื่องมือและอุปกรณ์	3,500
รวม	4,500

ตารางที่ 4.9 ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน

ประเภทของค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่าย (บาทต่อปี)
1. ค่าดำเนินการ	
1.1 เงินเดือน	-
1.2 ค่าไฟฟ้า (เครื่องสูบน้ำ)	1,135
2. ค่าบำรุงรักษา	
2.1 งานโยธา (1.0%)	-
2.2 งานเครื่องมือ (10%)	350
รวม	1,485

หมายเหตุ ค่าไฟฟ้า 3 บาทต่อหน่วย

4.7.11.2 ความเหมาะสมด้านการดูแลรักษา

การดำเนินการและดูแลรักษาระบบบึงประดิษฐ์ ได้แก่ การดูแลพืชในระบบและการควบคุมปัญหาเกี่ยวกับยุง สำหรับระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินไม่จำเป็นต้องมีการเก็บเกี่ยวพืช แต่หากจะเก็บเกี่ยวก็มีความถี่ในการเก็บเกี่ยวเพียง 3-5 ปี ส่วนปัญหาเรื่องโรคและแมลงของพืชนั้นจะเกิดขึ้นน้อยมากกับพืชที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ นอกจากนี้การควบคุมปัญหาเกี่ยวกับยุงก็ไม่จำเป็นในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเนื่องจากมีระดับน้ำต่ำกว่าผิวบนของตัวกลาง (Sherwood et al., 1995)

4.7.11.3 ความเหมาะสมด้านพื้นที่

การนำระบบบึงประดิษฐ์มาใช้ในพื้นที่ที่มีสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นเช่นประเทศไทย มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและจุลินทรีย์ ส่งเสริมให้เกิดการทำงานร่วมกันระหว่างพืช จุลินทรีย์และตัวกลางในระบบบึงประดิษฐ์ได้ดี เนื่องจากอุณหภูมิจะมีผลต่อกระบวนการทางกายภาพและชีวภาพของระบบบึงประดิษฐ์ โดยเฉพาะการบำบัดบีโอดี ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (Sherwood et al., 1995)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ระบบบึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีต้นทุนในการก่อสร้าง รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษาต่ำ นอกจากนี้ยังสามารถบำบัดสารปนเปื้อนในน้ำเสียได้ทุกพารามิเตอร์ที่ทำการทดลอง โดยเฉพาะทีเคเอ็นและฟีคัลโคลิฟอร์ม ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินจึงสามารถใช้เป็นระบบขั้นที่สามเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนได้อย่างเหมาะสม

2. ระบบบึงประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงที่สุด ได้แก่ ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธรรมรักษาและมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน สามารถบำบัดบีโอดี ซีโอดี ของแข็งทั้งหมด ทีเคเอ็น ไนไตรต์ไนโตรเจน ไนเตรตไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มได้ร้อยละ 90.19 78.45 26.13 93.88 71.60 72.59 77.39 และ 99.99 ตามลำดับ

3. ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำสูงขึ้น โดยระบบจะมีประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างเมื่อมีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน 2 วัน

4. การเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นธรรมรักษาและต้นขิงแดงในระบบบึงประดิษฐ์

5. การปลูกพืชในระบบบึงประดิษฐ์ มีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น โดยระบบที่มีการปลูกต้นธรรมรักษาและระบบที่ปลูกต้นขิงแดงมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ไม่แตกต่างกัน

6. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ได้แก่ ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ไนไตรต์ไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจน ในระบบบึงประดิษฐ์มีการเปลี่ยนแปลงในทางลดลงตามระยะทางที่ห่างจากทางน้ำเข้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือผิวดิน เพื่อเปรียบเทียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด
2. ศึกษาการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ให้ยาวนานขึ้น เพื่อใช้เป็นระบบบำบัดในระยะยาว
3. ศึกษาการสะสมปริมาณธาตุอาหารในพืชและตัวกลาง เพื่อทราบถึงกลไกในการบำบัด
4. ศึกษาการใช้ตัวกลางชนิดอื่นๆ เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ. 2544. การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2543. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่ม 4. พิมพ์ครั้งที่ 1. (ม.ป.ท.)

คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, สำนักงาน. 2544. รายงานฉบับสมบูรณ์เรื่องการกำจัดไนโตรเจนโดยระบบ Combined Constructed Wetland ในเขตอากาศร้อน. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2538. คู่มือเล่มที่ 4 สำหรับผู้ให้บริการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2545. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2544. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.

จิรายุพิน จันทรประสงค์. 2534. เทคโนโลยีการผลิตไม้ดอกไม้ประดับ. (ม.ป.ท.).

ทวีวงศ์ ศรีบุรี. 2541. การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: มายด์พับลิชชิ่ง.

ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์. 2546. ไม้ตัดดอก. กรุงเทพมหานคร: ก.พล (1996).

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2543. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พวงเพ็ญ ศิริรักษ์ และ วินัย จะระนิล. 1998. ไม้ตัดดอกเขตร้อน เรื่อง การปลูกขิงแดง [Online]. สำนักบริการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. แหล่งที่มา: http://web.ku.ac.th/agri/RedGinger/index.html [2004, March 3]

พิรัฐพล ตนานนท์. 2544. การบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นน้ำมันโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วชิรพงศ์ หวลบุตตา. 2538. เฮลิโคเนีย: ไม้ดอกประดับสวรรค์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์บ้านและสวน.

วิทย์ เที่ยงบูรณธรรม. 2536. พจนานุกรมไม้ดอกไม้ประดับในเมืองไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สุริยบรรณ.

ส่งเสริมการเกษตร, กรม. 2538. ไม้ตัดดอกเขตร้อน. กรุงเทพมหานคร: กรมส่งเสริมการเกษตร.

ส่งเสริมการเกษตร, กรม. 1998. คู่มือการผลิตไม้ดอก [Online]. สำนักบริการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. แหล่งที่มา: http://web.ku.ac.th/agri/conia/index.html [2004, March 3]

สุชาดา ศรีเพ็ญ. 2530. พรรณไม้น้ำ. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุปราณี วนิชชานนท์. 2540. ไม้ตัดดอก. นนทบุรี: สำนักพิมพ์เพื่อนเกษตร.

เสนีย์ กาญจนวงศ์, กิตติพงศ์ พลกลาง, วิวัฒน์ นามวงษ์, ณรงค์ชัย ทัศนาวรากุล และ ภาณุวัฒน์ กันยารัตน์. 2544. การบำบัดขั้นสุดท้ายโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิว: กรณีศึกษาของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส. รายงานการประชุมสัมมนาวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 1: 220 - 227.

ภาษาอังกฤษ

APHA, AWWA, WPCF. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed. Washington D.C.: American Public Health Association.

Brix, H. 1993 a. Wastewater treatment in constructed wetland: System design, removal processes and treatment performances. In G. A. Moshiri (ed.), Constructed wetland for water quality Improvement, pp. 9-19. Michigan: Lewis Publisher.

Brix, H. 1993 b. Macrophyte–mediated oxygen transfer in wetlands: Transport mechanisms and rates. In G. A. Moshiri (ed.), Constructed wetland for water quality Improvement, pp. 391-396. Michigan: Lewis Publisher.

Brix, H. 1997. Do Macrophytes play a role in constructed wetlands. Water Science and Technology. 35 (5): 11 – 17.

Coleman, J., Hench, K., Garbutt, K., Sexstone, A., Bissonnette, G., and Skousen, J. 2001. Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetlands. Water, Air and Soil Pollution. 128 (3-4): 283 – 295.

Cooper, P. F. and Boon, A. G. 1987. Aquatic plants for wastewater treatment and resource recovery. Orlando: Magnolia Public.

Cooper, P. F., Job, G. D., Green, M. B. and Shutes, R. B. E. 1996. Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment. Marlow: WRC Publications.

Decamp, O., and Warren, A. 2000. Investigation of *Escherichia coli* removal in various designs of subsurface flow wetlands used for wastewater treatment. Ecological Engineering. 14 (3): 293 – 299.

Drizo, A., Frost, C. A., Grace, J., and Smith K. A. 2000. Phosphate and ammonium distribution in a pilot–scale constructed wetland with horizontal subsurface flow using shale as a substrate. Water Research. 34 (9): 2483 – 2490.

Garcia, J., Viva, J., Aromir, M., and Mujeriego, R. 2003. Role of hydraulic retention time and granular medium in microbial removal in tertiary treatment reed beds. Water Research. 37 (11): 2645 – 2653.

Garcia, J., Aguirre, P., Mujeriego, R., Huang, Y., Ortiz, L., and Bayona, J. M. 2004. Initial contaminant removal performance factors in horizontal flow reed beds used for treating urban wastewater. Water Research. 38 (7): 1669 – 1678.

Green, M.B., Griffin, P., Seabridge, J.K., and Dhobic, D. 1997. Removal of bacteria in subsurface flow wetland. Water Science and Technology. 35 (5): 109 - 116.

Greenway, M., and Woolley, A. 1999. Constructed wetlands in Queensland: Performance efficiency and nutrient bioaccumulation. Ecological Engineering. 12 (1 - 2): 39 – 55.

Hofmann K. 1997. The role of plants in subsurface flow constructed wetlands. In C. Etnier and B. Guterstam (eds.), Ecological engineering for wastewater treatment, 2nd ed., pp. 183 – 196. New York: CRC Press.

Howard, R., Gwyn, H., Martin, C., Mike, B., and Steve, L. 1999. The use of an engineered reed bed system to treat leachate at monument hill landfill site, southern England. In G. Mulamoo, E.D.McBean, and F. Rovers (eds), Constructed wetlands for the treatment of landfill leachate, pp. 71-97. New York: Lewis Publisher.

Kadlec, R. H., Knight, R. L. 1995. Treatment wetlands. Michigan: Lewis Publisher.

Kongphorod, L. 2002. Investigation of constructed wetlands planted with Golden Torch (*Heliconiapsittacorum* x *H. spathocircinata*) for tertiary treatment of swine wastewater. Master's Thesis, Department of Environmental Sanitation, Graduate Studies, Mahidol University.

Koottathep, T. and Polprasert C. 1997. Constructed wetland. EEAT handbook & direct.

Lekven, C. C., Crites, R. W., and Beggs, R. A. 1993. Subsurface flow wetlands at Mesquite, Nevada. In G. A. Moshiri (ed.), Constructed wetland for water quality Improvement, pp. 261 – 267.Michigan: Lewis Publisher.

Lin Y. F., Jing S. R., Lee D. Y., and Wang T. W. 2002. Removal of solids and oxygen demand from aquaculture wastewater with a constructed wetland system in the start–up phase. Water Environment Research. 74 (2): 136 – 141.

Manios, T., Stentiford, E. I., and Millner, P. A. 2002. The removal of indicator microorganisms from primary treated wastewater in subsurface reed beds using different substrates. Environmental Technology. 23(7): 767 – 774.

Mantovi, P., Marmiroli, M., Maestri, E., Tagliavini, S., Piccinini, S., and Marmiroli, N. 2003. Application of a horizontal subsurface flow constructed wetland on treatment of dairy parlor wastewater. Bioresource Technology. 88(2): 85 – 94.

Meutia, A. A. 2001. Treatment of laboratory wastewater in a tropical constructed wetland comparing surface and subsurface flow. Water Science & Technology. 44(11 - 12): 499 – 506.

Moore, J. A., Shada, S. M., and Sherwood, R. 1994. Wetland treatment of pulp mill wastewater. Water Science & Technology. 29(4): 241 – 247.

Mumtapan, R. 1994. The efficiency of wetland using *Cyperus corymbocus Rottb* for tertiary treatment of dormitory wastewater. Master's Thesis, Department of Environmental Technology, Graduate Studies, Mahidol University.

Neralla, S., Weaver, R. W., Lesikar, B. J., and Persyn, R. A. 2000. Improvement of domestic wastewater quality by subsurface flow constructed wetlands. Bioresource Technology. 75 (1): 19 – 25.

Paul, E. A. and Clark, F. E. 1996. Soil microbiology and biochemistry. 2nd ed. San Diego: Academic Press.

Reddy, K. R., and Patrick, W. H. 1984. Nitrogen transformations and loss in flooded soils and sediments. Rev. Environ. Control. 13(4): 273 – 309.

Reed, S. C., Crites, R. W., and Middlebrooks, E. J. 1995. Natural systems for waste management and treatment. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.

Richter, A. Y., and Weaver, R. W. 2003. Treatment of domestic wastewater by subsurface flow constructed wetlands filled with gravel and tire chip media. Environmental Technology. 24(12): 1561 – 1567.

Rogers, J. H. Jr., Cherry, D. S., and Guthrie, R. K. 1978. Cycling of elements in duckweed in ash setting basin and swamp drainage system. Water Research. 12(10): 765 – 770.

Rogers, F. E. J., Rogers, K. H., and Buzer, J. S. 1985. Wetlands for wastewater treatment with special reference to municipal wastewaters. Johannesburg: Witwatersr and University Press

Samuel, B. J. Jr., and Arlene, E. L. 1979. Plant systematics. New York: McGraw-Hill.

Schulz, C., Gelbrecht, J., and Rennert, B. 2003. Treatment of rainbow trout farm effluents in constructed wetland with emergent plants and subsurface horizontal water flow. Aquaculture. 217(1 - 4): 207 – 221.

Thurston, J. A., Gerba, C. P., Foster, K. E., and Karpiscak, M. M. 2001. Fate of indicator microorganisms, *Giardia* and *Cryptosporidium* in subsurface flow constructed wetlands. Water Research. 35(6): 1547 – 1551.

Trongsawad, P. 2002. Treatment of Wastewater from Community with Constructed Wetland. Master's Thesis, Department of Environmental Biology, Faculty of Graduate Studies, Mahidol University.

Vymazal, J. 1995. Algae and nutrient cycling in wetlands. Boca Raton: CRC Press.

Vymazal, J. 2002. The use of sub–surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience. Ecological Engineering. 18(5): 633 – 646.

Weaver, R. W., Stecher, M. C., and Mcinnes, K. J. 2003. Water flow patterns in subsurface flow constructed wetlands designed for on–site domestic wastewater treatment. Environmental Technology. 24(1): 77 – 86.

Wenerick, W.R., Stevens, S. E. Jr., Webster, H. J., Stark, L.R., and DeVeau, E. 1989. Constructed wetlands for wastewater treatment: municipal, industrial and agricultural. Chelsea: Lewis Publishing.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณอัตราการไหลของน้ำในชุดการทดลอง

กำหนดให้

1. บ่อที่ใช้ในการทดลองทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 เซนติเมตร สูง 35 เซนติเมตรจำนวน 3 บ่อต่อชุดการทดลอง
2. ระดับน้ำในชุดการทดลอง 25 เซนติเมตร
3. ตัวกลางกรวดที่บรรจุในชุดการทดลองขนาด 2 – 5 มิลลิเมตร และมีอัตราส่วนช่องว่าง (Void ratio) เท่ากับ 0.43

การคำนวณ

1. การคำนวณพื้นที่รับน้ำ

   พื้นที่รับน้ำ = π x รัศมีของบ่อ^2 x จำนวนบ่อในชุดการทดลอง

   = $\frac{22}{7}$ x 37.5^2 ซม.^{2} x 3

   = 13,260 ซม.^{2}

2. การคำนวณปริมาตรของช่องว่างในตัวกลาง

   ปริมาตรของช่องว่างในตัวกลาง = พื้นที่รับน้ำ x ระดับน้ำ x อัตราส่วนช่องว่าง

   = 13,260 ซม.^{2} x 25 ซม. x 0.43

   = 142,545 ซม.^{3}

   = 142.545 ลิตร

3. การคำนวณอัตราการไหลและภาระบรรทุกทางชลศาสตร์

   เมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำ = 1 วัน

   อัตราการไหลของน้ำ = <u>ปริมาตรของช่องว่างในตัวกลาง</u>

   ระยะเวลาเก็บกักน้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

= 142.545 ลิตร

1 วัน

= 142.545 ลิตร/วัน

ค่าที่ใช้ในการทดลองเป็น 143 ลิตรต่อวัน

ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ = อัตราการไหลของน้ำเสีย

พื้นที่รับน้ำ

= 143,000 ซม.^{3}/วัน

13,260 ซม.^{2}

= 10.78 ซม./วัน

เมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำ = 2 วัน

อัตราการไหลของน้ำ = ปริมาตรของช่องว่างในตัวกลาง

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ

= 142.545 ลิตร

2 วัน

= 71.2725 ลิตร/วัน

ค่าที่ใช้ในการทดลองเป็น 72 ลิตรต่อวัน

ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ = อัตราการไหลของน้ำเสีย

พื้นที่รับน้ำ

= 72,000 ซม.^{3}/วัน

13,260 ซม.^{2}

= 5.43 ซม./วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำ = 3 วัน

อัตราการไหลของน้ำ = ปริมาตรของช่องว่างในตัวกลาง / ระยะเวลาเก็บกักน้ำ

= 142.545 ลิตร / 3 วัน

= 47.515 ลิตร/วัน

ค่าที่ใช้ในการทดลองเป็น 48 ลิตรต่อวัน

ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ = อัตราการไหลของน้ำเสีย / พื้นที่รับน้ำ

= 48,000 ซม.^{3}/วัน / 13,260 ซม.^{2}

= 3.62 ซม./วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร

มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากอาคารตามมาตรา 55 และ 69 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 มีรายละเอียด ดังตาราง ข - 1

ตาราง ข — 1 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภทต่างๆ

พารามิเตอร์	ประเภทอาคาร				
	ก	ข	ค	ง	จ
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9
2. บีโอดี (BOD) ,มิลลิกรัมต่อลิตร	≤20	≤30	≤40	≤50	≤200
3. ปริมาณของแข็ง (Solids) ,มิลลิกรัมต่อลิตร					
3.1 ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	≤30	≤40	≤50	≤50	≤60
3.2 ของแข็งตะกอนหนัก (Settleable Solids)	≤0.5	≤0.5	≤0.5	>0.5	-
3.3 ของแข็งละลายได้ทั้งหมด (Total Dissoved Solids)	≤500	≤500	≤500	≤500	-
4. ซัลไฟด์ (Sulfide) ,มิลลิกรัมต่อลิตร	≤1.0	≤1.0	≤3.0	≤4.0	-
5. ไนโตรเจน (Nitrogen) ในรูป ที เค เอ็น (TKN) ,มิลลิกรัมต่อลิตร	≤35	≤35	≤40	≤40	-
6. น้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease) ,มิลลิกรัมต่อลิตร	≤20	≤20	≤20	≤20	≤100

<u>หมายเหตุ</u> ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภท และบางขนาด

ข้อ 6 อาคารประเภท ง. หมายความถึงอาคารดังต่อไปนี้

(1) หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10 ห้อง แต่ไม่ถึง 50 ห้อง

(2) ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 1,000 ตารางเมตร

(3) ภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 100 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 250 ตารางเมตร

ภาคผนวก ค.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 1 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 1 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 18 มิถุนายน 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.75	7.42	7.18	7.28	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	30.0	28.0	28.0	28.0	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	51.0	45.0	27.0	24.0	11.76	47.06	52.94	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	232.0	224.0	80.0	104.0	3.45	65.52	55.17	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	1328.0	1127.0	973.3	1020.0	15.14	26.71	23.19	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	128.8	70.0	19.6	61.6	45.65	84.78	52.17	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.08	0.08	0.06	0.06	4.09	20.69	20.18	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.003	0.003	0.002	0.003	5.88	44.12	23.53	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	13.50	10.75	5.00	3.75	20.37	62.96	72.22	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	-	-	-	-	-	-	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 2 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 1 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 22 มิถุนายน 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.82	7.47	7.39	7.36	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.5	26.5	26.5	26.5	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	48.0	21.0	18.0	12.0	56.25	62.50	75.00	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	392.0	336.0	56.0	112.0	14.29	85.71	71.43	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	944.0	938.0	764.0	938.7	0.64	19.07	0.56	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	114.8	25.2	5.6	16.8	78.05	95.12	85.37	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.11	0.10	0.09	0.09	9.51	11.23	10.09	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.004	0.003	0.003	0.003	26.19	38.10	33.33	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	13.75	12.00	1.25	5.50	12.73	90.91	60.00	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	4.00E+06	2.10E+04	9.50E+03	1.10E+04	99.48	99.76	99.73	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 3 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 1 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 25 มิถุนายน 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.8	7.42	7.22	7.36	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.0	27.0	26.5	26.0	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	57.0	45.0	24.0	24.0	21.05	57.89	57.89	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	464.0	280.0	208.0	200.0	39.66	55.17	56.90	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	1168.0	1037.3	1005.3	1018.7	11.19	13.93	12.78	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	117.6	25.2	8.4	19.6	78.57	92.86	83.33	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.07	0.06	0.05	0.06	4.14	19.67	5.33	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.003	0.003	0.002	0.003	3.57	21.43	7.14	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	14.50	12.25	4.00	10.00	15.52	72.41	31.03	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	-	-	-	-	-	-	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 4 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 1 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 29 มิถุนายน 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.79	7.36	7.27	7.27	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	30.0	28.0	27.5	27.0	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	60.0	54.0	21.0	27.0	10.00	65.00	55.00	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	328.0	280.0	96.0	160.0	14.63	70.73	51.22	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	977.3	921.3	901.3	902.7	5.73	7.78	7.63	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	72.8	64.4	16.8	36.4	11.54	76.92	50.00	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.01	0.01	0.00	0.01	12.26	57.55	45.28	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.003	0.003	0.002	0.003	3.13	31.25	12.50	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	5.25	2.75	1.25	1.75	47.62	76.19	66.67	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	6.00E+06	2.80E+04	1.60E+04	3.50E+04	99.53	99.73	99.42	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 5 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 1 วัน

(อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 2 กรกฎาคม 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.76	7.45	7.34	7.36	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29.0	28.0	28.0	27.5	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	51.0	36.0	18.0	18.0	29.41	64.71	64.71	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	296.0	264.0	96.0	152.0	10.81	67.57	48.65	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	861.3	839.3	794.7	836.0	2.55	7.73	2.94	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	67.2	30.8	11.2	16.8	54.17	83.33	75.00	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.07	0.05	0.03	0.03	31.22	62.58	60.16	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.003	0.003	0.002	0.003	6.45	29.03	19.35	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	12.00	10.00	7.25	2.50	16.67	39.58	79.17	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	-	-	-	-	-	-	-	-

ตาราง ค - 6 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 1 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 6 กรกฎาคม 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.16	7.07	7.04	7.04	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	31.0	31.0	30.0	31.0	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	39.0	15.0	15.0	12.0	61.54	61.54	69.23	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	248.0	224.0	120.0	136.0	9.68	51.61	45.16	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	924.0	916.7	789.3	902.7	0.79	14.58	2.31	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	58.8	19.6	8.4	11.2	66.67	85.71	80.95	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.06	0.04	0.02	0.03	22.07	65.32	53.77	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.003	0.003	0.002	0.003	6.45	22.58	12.90	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	6.00	4.50	3.00	3.75	25.00	50.00	37.50	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	9.00E+06	7.30E+04	3.30E+04	3.60E+04	99.19	99.63	99.60	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 7 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 1 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 9 กรกฎาคม 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.15	7.08	7.03	7.07	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.0	26.5	26.5	26.5	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	72.0	33.0	15.0	15.0	54.17	79.17	79.17	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	208.0	184.0	72.0	120.0	11.54	65.38	42.31	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	872.0	846.7	761.3	738.7	2.90	12.69	15.29	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	58.8	19.6	14.0	11.2	66.67	76.19	80.95	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.04	0.02	0.02	0.01	31.11	53.61	60.56	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.004	0.004	0.003	0.003	2.38	19.05	23.81	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	12.25	10.25	7.50	10.00	16.33	38.78	18.37	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	-	-	-	-	-	-	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 8 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 1 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 13 กรกฎาคม 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.04	7.03	7.03	7.02	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.0	27.0	26.5	27.0	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	45.0	27.0	12.0	12.0	40.00	73.33	73.33	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	240.0	200.0	96.0	136.0	16.67	60.00	43.33	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	836.7	802.3	712.0	765.7	4.11	14.90	8.49	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	51.8	22.4	12.6	9.8	56.76	75.68	81.08	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.03	0.02	0.02	0.02	10.78	34.20	29.74	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.013	0.012	0.010	0.012	3.20	18.40	5.60	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	8.50	8.75	5.00	3.25	-2.94	41.18	61.76	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	2.00E+06	1.40E+04	7.00E+02	5.70E+03	99.30	99.97	99.72	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 9 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 30 กรกฎาคม 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.65	7.24	7.02	7.14	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29.0	28.0	27.5	28.0	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	63.0	27.0	15.0	15.0	57.14	76.19	76.19	$\leq$50
ซีโอดี (มก./ล.)	216.0	128.0	48.0	64.0	40.74	77.78	70.37	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	746.3	622.3	540.0	554.0	16.62	27.64	25.77	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	57.4	30.8	14.0	16.8	46.34	75.61	70.73	$\leq$40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.05	0.05	0.03	0.03	10.06	36.75	42.36	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.006	0.004	0.003	0.004	34.38	51.56	40.63	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	9.25	7.50	5.25	6.00	18.92	43.24	35.14	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	-	-	-	-	-	-	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 10 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 3 สิงหาคม 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.61	7.29	7.12	7.17	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.0	27.0	26.5	26.5	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	30.0	24.0	0.0	3.0	20.00	100.00	90.00	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	248.0	88.0	56.0	64.0	64.52	77.42	74.19	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	1096.0	984.0	819.3	958.3	10.22	25.25	12.56	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	109.2	28.0	14.0	14.0	74.36	87.18	87.18	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.03	0.03	0.02	0.02	11.45	40.66	38.55	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.013	0.010	0.007	0.008	27.48	47.33	42.75	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	14.50	9.75	6.25	8.00	32.76	56.90	44.83	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	3.00E+06	7.50E+03	1.80E+03	1.90E+03	99.75	99.94	99.94	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 11 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 6 สิงหาคม 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.43	7.17	7.06	7.09	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	30.0	28.0	27.0	27.5	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	48.0	15.0	6.0	9.0	68.75	87.50	81.25	$\leq$50
ซีโอดี (มก./ล.)	232.0	132.0	40.0	92.0	43.10	82.76	60.34	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	1148.0	1008.3	934.7	944.3	12.17	18.58	17.74	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	92.4	25.2	5.6	11.2	72.73	93.94	87.88	$\leq$40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.07	0.06	0.04	0.05	9.88	47.64	20.21	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.007	0.006	0.004	0.005	8.96	44.78	23.88	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	8.75	7.25	4.50	6.25	17.14	48.57	28.57	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	-	-	-	-	-	-	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 12 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 10 สิงหาคม 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.86	7.37	7.2	7.25	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.5	27.5	27.0	27.0	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	33.0	15.0	9.0	12.0	54.55	72.73	63.64	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	176.0	96.0	40.0	88.0	45.45	77.27	50.00	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	837.3	789.0	711.3	723.0	5.77	15.05	13.65	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	112.0	53.2	8.4	8.4	52.50	92.50	92.50	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.03	0.03	0.02	0.02	13.44	50.00	36.56	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.003	0.003	0.002	0.002	26.47	55.88	35.29	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	19.00	13.75	7.00	12.50	27.63	63.16	34.21	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	7.00E+06	1.20E+04	4.00E+02	4.00E+02	99.83	99.99	99.99	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 13 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 13 สิงหาคม 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.25	7.12	7.08	7.08	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	30.5	29.0	27.5	28.0	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	48.0	21.0	3.0	6.0	56.25	93.75	87.50	$\leq$50
ซีโอดี (มก./ล.)	256.0	168.0	56.0	92.0	34.38	78.13	64.06	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	894.7	814.3	711.3	806.7	8.99	20.50	9.84	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	98.0	30.8	5.6	19.6	68.57	94.29	80.00	$\leq$40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.05	0.04	0.02	0.02	23.52	51.12	58.08	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.006	0.005	0.003	0.004	14.55	38.18	29.09	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	8.50	4.75	1.25	3.25	44.12	85.29	61.76	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	-	-	-	-	-	-	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 14 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 17 สิงหาคม 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.16	7.11	7.04	7.08	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.0	27.0	26.5	26.5	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	42.0	21.0	6.0	6.0	50.00	85.71	85.71	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	296.0	208.0	128.0	148.0	29.73	56.76	50.00	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	826.7	792.7	628.0	645.3	4.11	24.04	21.94	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	131.6	25.2	2.8	16.8	80.85	97.87	87.23	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.03	0.02	0.01	0.01	33.33	60.51	56.52	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.012	0.009	0.005	0.006	22.22	54.70	48.72	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	12.75	7.25	1.50	3.00	43.14	88.24	76.47	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	5.00E+06	1.20E+04	1.50E+03	1.80E+03	99.76	99.97	99.96	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 15 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 20 สิงหาคม 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.66	7.36	7.12	7.32	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29.0	28.0	28.0	29.0	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	54.0	18.0	3.0	6.0	66.67	94.44	88.89	$\leq$50
ซีโอดี (มก./ล.)	264.0	148.0	48.0	100.0	43.94	81.82	62.12	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	1201.3	1139.0	878.3	918.0	5.19	26.89	23.58	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	88.2	22.4	16.8	16.8	74.60	80.95	80.95	$\leq$40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.07	0.05	0.03	0.03	36.78	62.81	62.26	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.004	0.003	0.003	0.002	39.02	34.15	56.10	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	10.50	8.75	1.75	2.75	16.67	83.33	73.81	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	-	-	-	-	-	-	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 16 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 24 สิงหาคม 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.12	7.08	7.02	7.04	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29.0	28.0	27.0	27.5	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	45.0	15.0	3.0	9.0	66.67	93.33	80.00	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	224.0	180.0	56.0	108.0	19.64	75.00	51.79	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	944.0	863.3	762.0	789.3	8.55	19.28	16.39	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	79.8	28.0	8.4	14.0	64.91	89.47	82.46	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.05	0.04	0.02	0.02	26.74	60.07	65.38	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.003	0.003	0.002	0.002	19.35	45.16	38.71	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	4.25	3.25	1.00	1.50	23.53	76.47	64.71	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	5.00E+06	2.50E+03	8.00E+02	2.50E+03	99.95	99.98	99.95	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 17 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 3 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 3 กันยายน 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.61	7.21	7.17	7.2	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.0	26.5	26.0	26.5	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	54.0	15.0	9.0	6.0	72.22	83.33	88.89	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	224.0	64.0	56.0	40.0	71.43	75.00	82.14	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	922.7	816.0	704.0	608.0	11.56	23.70	34.11	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	67.2	33.6	11.2	14.0	50.00	83.33	79.17	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.05	0.04	0.01	0.02	23.87	68.39	65.81	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.015	0.003	0.000	0.001	79.45	100.00	94.52	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	13.75	9.00	5.75	4.00	34.55	58.18	70.91	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	-	-	-	-	-	-	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 18 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 3 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 7 กันยายน 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.95	7.48	7.28	7.36	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29.0	29.0	29.0	29.0	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	45.0	15.0	6.0	6.0	66.67	86.67	86.67	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	144.0	80.0	40.0	32.0	44.44	72.22	77.78	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	1190.7	966.7	798.7	1006.7	18.81	32.92	15.45	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	64.4	11.2	8.4	2.8	82.61	86.96	95.65	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.01	0.01	0.00	0.01	13.73	62.75	40.20	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.024	0.018	0.011	0.013	26.78	53.97	46.86	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	10.75	6.50	2.25	3.75	39.53	79.07	65.12	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	5.00E+06	1.80E+04	9.00E+02	2.40E+03	99.64	99.98	99.95	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 19 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 3 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 10 กันยายน 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.9	7.46	7.31	7.33	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.0	26.0	26.0	26.0	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	27.0	18.0	0.0	0.0	33.33	100.00	100.00	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	136.0	80.0	16.0	56.0	41.18	88.24	58.82	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	758.7	750.7	556.3	613.7	1.05	26.68	19.11	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	78.4	42.0	2.8	2.8	46.43	96.43	96.43	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.02	0.02	0.00	0.01	27.57	86.01	74.49	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.017	0.013	0.008	0.010	21.82	54.55	41.82	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	2.50	2.00	1.25	1.75	20.00	50.00	30.00	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	-	-	-	-	-	-	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 20 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 3 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 14 กันยายน 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	7.87	7.50	7.19	7.32	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.0	28.0	27.5	28.0	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	42.0	12.0	0.0	0.0	71.43	100.00	100.00	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	168.0	64.0	24.0	56.0	61.90	85.71	66.67	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	894.7	812.0	685.3	710.7	9.24	23.40	20.57	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	98.0	30.8	2.8	11.2	68.57	97.14	88.57	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.02	0.01	0.00	0.01	15.09	69.18	52.20	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.004	0.002	0.001	0.001	52.27	86.36	84.09	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	4.25	2.50	1.75	2.25	41.18	58.82	47.06	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	5.00E+06	1.50E+03	5.00E+01	3.00E+01	99.97	100.00	100.00	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 21 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 3 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 17 กันยายน 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	8.36	7.8	7.53	7.67	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.5	27.0	27.0	27.0	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	33.0	9.0	6.0	6.0	72.73	81.82	81.82	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	160.0	48.0	24.0	48.0	70.00	85.00	70.00	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	1130.3	1004.0	914.7	975.7	11.17	19.07	13.68	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	117.6	5.6	0.0	2.8	95.24	100.00	97.62	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.03	0.02	0.01	0.01	41.35	73.72	67.31	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.004	0.003	0.002	0.002	18.42	52.63	36.84	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	9.50	4.00	0.00	1.75	57.89	100.00	81.58	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	-	-	-	-	-	-	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 22 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 3 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 21 กันยายน 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	8.02	7.47	7.17	7.23	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29.5	29.5	29.0	29.0	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	72.0	12.0	12.0	6.0	83.33	83.33	91.67	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	264.0	72.0	96.0	72.0	72.73	63.64	72.73	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	1208.0	1193.3	903.3	918.6	1.22	25.22	23.96	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	196.0	39.2	8.4	5.6	80.00	95.71	97.14	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.03	0.02	0.01	0.01	40.53	67.42	64.02	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.007	0.003	0.002	0.003	57.75	76.06	60.56	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	4.50	2.25	0.00	1.75	50.00	100.00	61.11	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	9.00E+06	2.40E+03	5.00E+02	3.00E+03	99.97	99.99	99.97	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 23 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 3 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 24 กันยายน 2546

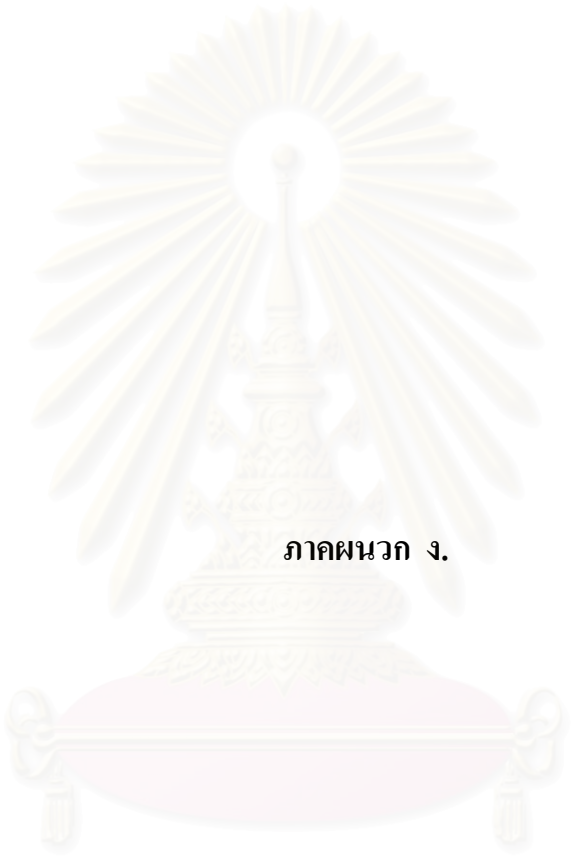
ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	8.26	7.72	7.6	7.68	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.5	27.5	27.5	27.5	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	66.0	18.0	9.0	9.0	72.73	86.36	86.36	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	224.0	88.0	56.0	72.0	60.71	75.00	67.86	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	1312.0	1296.0	864.0	1140.7	1.22	34.15	13.06	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	229.6	53.2	19.6	42.0	76.83	91.46	81.71	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.04	0.02	0.01	0.01	43.23	81.25	72.92	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.012	0.003	0.002	0.002	74.38	85.12	80.17	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	28.75	13.00	7.75	6.75	54.78	73.04	76.52	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	-	-	-	-	-	-	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 24 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 3 วัน (อ้างอิงมาตรฐาน ง.) วันที่ 28 กันยายน 2546

ลักษณะ	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)			ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency)			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Standard Effluent)
		ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	ไม่ปลูกพืช	ปลูกธรรมรักษา	ปลูกขิงแดง	
พีเอช	8.4	7.75	7.57	7.66	-	-	-	5.0 - 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	31.0	31.0	31.0	31.0	-	-	-	-
บีโอดี (มก./ล.)	36.0	18.0	0.0	3.0	50.00	100.00	91.67	≤50
ซีโอดี (มก./ล.)	232.0	64.0	40.0	56.0	72.41	82.76	75.86	-
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	1637.4	1421.4	1246.0	1338.7	13.19	23.90	18.24	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	246.4	25.2	0.0	11.2	89.77	100.00	95.45	≤40
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./ล.)	0.04	0.03	0.01	0.02	21.99	71.99	51.16	-
ไนไตรต์ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.004	0.003	0.001	0.002	28.21	64.10	51.28	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	29.50	9.50	0.00	3.50	67.80	100.00	88.14	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 มล.)	6.00E+06	1.50E+04	4.00E+02	5.00E+03	99.75	99.99	99.92	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการปลูกพืชต่างกัน

ตาราง ง-1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	8	35.52	
ปลูกธรรมรักษา	8		63.90
ปลูกขิงแดง	8		65.91
Sig.		1.000	.781

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	8	55.00	
ปลูกขิงแดง	8		81.65
ปลูกธรรมรักษา	8		87.96
Sig.		1.000	.293

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	8	65.30	
ปลูกธรรมรักษา	8		90.19
ปลูกขิงแดง	8		90.88
Sig.		1.000	.901

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
ไม่ปลูกพืช	8	15.09		
ปลูกขิงแดง	8		51.77	
ปลูกธรรมรักษา	8			65.21
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
ไม่ปลูกพืช	8	40.19		
ปลูกขิงแดง	8		60.36	
ปลูกธรรมรักษา	8			75.87
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	8	61.85	
ปลูกขิงแดง	8	71.48	71.48
ปลูกธรรมรักษา	8		78.45
Sig.		.061	.167

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	8	5.38	
ปลูกขิงแดง	8	9.15	9.15
ปลูกธรรมรักษา	8		14.67
Sig.		.253	.099

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	8	8.95	
ปลูกขิงแดง	8		17.68
ปลูกธรรมรักษา	8		21.59
Sig.		1.000	.129

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	8	8.43	
ปลูกขิงแดง	8		19.77
ปลูกธรรมรักษา	8		26.13
Sig.		1.000	.054

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	8	57.26	
ปลูกขิงแดง	8		73.61
ปลูกธรรมรักษา	8		83.82
Sig.		1.000	.204

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	8	66.86	
ปลูกขิงแดง	8		83.62
ปลูกธรรมรักษา	8		88.98
Sig.		1.000	.244

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	8	73.98	
ปลูกขิงแดง	8		91.17
ปลูกธรรมรักษา	8		93.88
Sig.		1.000	.650

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรต์ไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
ไม่ปลูกพืช	8	7.16		
ปลูกขิงแดง	8		17.27	
ปลูกธรรมรักษา	8			27.99
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรต์ไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	8	24.05	
ปลูกขิงแดง	8		39.40
ปลูกธรรมรักษา	8		46.47
Sig.		1.000	.146

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรต์ไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	8	44.89	
ปลูกขิงแดง	8	62.66	62.66
ปลูกธรรมรักษา	8		71.60
Sig.		.110	.411

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	8	15.65	
ปลูกขิงแดง	8		35.64
ปลูกธรรมรักษา	8		40.61
Sig.		1.000	.608

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-17 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	8	20.65	
ปลูกขิงแดง	8		44.74
ปลูกธรรมรักษา	8		51.20
Sig.		1.000	.277

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-18 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

TREAT	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1	8	28.42		
3	8		61.01	
2	8			72.59
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

TREAT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	8	18.91	
ปลูกขิงแดง	8		53.34
ปลูกธรรมรักษา	8		59.00
Sig.		1.000	.552

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-20 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	8	27.99	
ปลูกขิงแดง	8		52.44
ปลูกธรรมรักษา	8		68.15
Sig.		1.000	.067

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-21 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	8	45.72	
ปลูกขิงแดง	8		65.06
ปลูกธรรมรักษา	8		77.39
Sig.		1.000	.195

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-22 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มของระบบบึงประดิษฐ์ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

TREAT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	4	99.38	
ปลูกขิงแดง	4		99.62
ปลูกธรรมรักษา	4		99.77
Sig.		1.000	.174

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตาราง ง-23 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มของระบบบึงประดิษฐ์ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

TREAT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ไม่ปลูกพืช	4	99.82	
ปลูกขิงแดง	4		99.96
ปลูกธรรมรักษา	4		99.97
Sig.		1.000	.897

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตาราง ง-24 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มของระบบบึงประดิษฐ์ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ที่มีการปลูกพืชต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

ระบบ	N	Subset for alpha = .05
		1
ไม่ปลูกพืช	4	99.83
ปลูกขิงแดง	4	99.96
ปลูกธรรมรักษา	4	99.99
Sig.		.105

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างกัน

ตาราง ง-25 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	8	35.52	
2	8		55.00
3	8		65.30
Sig.		1.000	.252

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-26 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกธรรมรักษา ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	8	63.90	
2	8		87.96
3	8		90.19
Sig.		1.000	.630

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-27 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกขิงแดงที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1	8	65.91		
2	8		81.65	
3	8			90.88
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-28 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1	8	15.09		
2	8		40.19	
3	8			61.85
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-29 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกธรรมรักษา ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	8	65.21	
2	8		75.87
3	8		78.45
Sig.		1.000	.575

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-30 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกขิงแดงที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	8	51.77	
2	8	60.36	
3	8		71.48
Sig.		.065	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-31 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05
		1
1	8	5.38
3	8	8.43
2	8	8.95
Sig.		.225

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-32 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกธรรมรักษาที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	8	14.67	
2	8		21.59
3	8		26.13
Sig.		1.000	.109

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-33 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกขิงแดงที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	8	9.15	
2	8		17.68
3	8		19.77
Sig.		1.000	.544

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-34 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05
		1
1	8	57.26
2	8	66.86
3	8	73.98
Sig.		.087

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-35 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกธรรมรักษา ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	8	83.82	
2	8	88.98	88.98
3	8		93.88
Sig.		.157	.178

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-36 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกขิงแดง ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	8	73.61	
2	8	83.62	83.62
3	8		91.17
Sig.		.058	.144

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-37 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรต์ไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1	8	7.16		
2	8		24.05	
3	8			44.89
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-38 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรต์ไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกธรรมรักษา ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1	8	27.99		
2	8		46.47	
3	8			71.60
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-39 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรต์ไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกขิงแดง ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1	8	17.27		
2	8		39.40	
3	8			62.66
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-40 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	8	15.65	
2	8	20.65	20.65
3	8		28.42
Sig.		.386	.184

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-41 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกธรรมรักษา ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	8	40.61	
2	8	51.20	
3	8		72.59
Sig.		.155	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-42 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกขิงแดง ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	8	35.64	
2	8	44.74	44.74
3	8		61.01
Sig.		.287	.064

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-43 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	8	18.91	
2	8	27.99	
3	8		45.72
Sig.		.194	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-44 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกธรรมรักษา ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05
		1
1	8	59.00
2	8	68.15
3	8	77.39
Sig.		.085

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-45 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกขิงแดง ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05
		1
2	8	52.44
1	8	53.34
3	8	65.06
Sig.		.245

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตาราง ง-46 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	4	99.38	
3	4		99.82
2	4		99.83
Sig.		1.000	.174

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตาราง ง-47 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกธรรมรักษา ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	4	99.77	
3	4		99.97
2	4		99.99
Sig.		1.000	.897

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตาราง ง-48 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟีคัลโคลิฟอร์มของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกขิงแดง ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยวิธี ANOVA

Duncan

TREAT	N	Subset for alpha = .05
		1
1	4	99.62
3	4	99.96
2	4	99.96
Sig.		.105

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

การเปรียบเทียบผลของระยะเวลากักเก็บน้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

ตาราง ง-49 เปรียบเทียบผลของระยะเวลากักเก็บน้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นธรรมรักษา โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
2	4	.25		
3	4		2.25	
1	4			5.50
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตาราง ง-50 เปรียบเทียบผลของระยะเวลากักเก็บน้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นขิงแดง โดยวิธี ANOVA

Duncan

HRT	N	Subset for alpha = .05
		1
3	4	.50
1	4	1.00
2	4	1.00
Sig.		.463

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุธาสินี ภู่มุสิก เกิดเมื่อวันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ.2523 ที่จังหวัดนนทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2543

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย