การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเพื่อการบำบัดขั้นที่สาม สำหรับน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

นางสาว จุฑารัตน์ หนูสุข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม (สหสาขา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546
ISBN 974-17-3781-5
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

USE OF SUB-SURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLANDS FOR PALM OIL MILL TERTIARY WASTEWATER TREATMENT

Miss Jutarat Nusuk

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
Acadamic Year 2003

ISBN 974-17-3781-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเพื่อการบำบัดขั้นที่สาม สำหรับน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
โดย	นางสาวจุฑารัตน์ หนูสุข
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. อาจอง ประทัตสุนทรสาร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฑารัตน์ หนูสุข : การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเพื่อการบำบัดขั้นที่สามสำหรับน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (USE OF SUB-SURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLANDS FOR PALM OIL MILL TERTIARY WASTEWATER TREATMENT) อ.ที่ปรึกษา : รศ. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ , 108 หน้า. ISBN 974-17-3781-5

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สามจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม บึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการทดลองนี้บรรจุตัวกลางกรวด และปลูกต้นธูปฤาษี (*Typha angustifolia*) จำนวน 3 บ่อ การทดลองจะทำการป้อนน้ำเสียจากบ่อสุดท้ายที่ผ่านระบบบำบัดแบบบ่อหมักและปรับสภาพแล้ว โดยปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบในแต่ละบ่อ 3 ค่า คือ 0.26 0.13 และ 0.086 ลบ.ม./วัน และมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในระบบ เท่ากับ 5 10 และ 15 วัน ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า บึงประดิษฐ์ที่มีอัตราการไหลของน้ำที่ป้อนเข้าระบบเท่ากับ 0.086 ลบ.ม./วัน และมีระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 15 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้สูงมาก คิดเป็นร้อยละ 90.49 มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีได้ดี เท่ากับร้อยละ 74.11 แต่น้ำทิ้งที่ออกจากระบบยังมีปริมาณบีโอดีไม่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ซีโอดี และทีเคเอ็นได้ปานกลางคิดเป็นร้อยละ 61.65 59.06 และ 54.4 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสจะค่อนข้างต่ำ คิดเป็นร้อยละ 39.48 และผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีค่าน้อยลง หรือระบบมีระยะเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้น จะทำให้ระบบบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอย สี ซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสได้สูงขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต…….....

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา…….

ปีการศึกษา 2546

##4489062120 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEY WORD : CONSTRUCTED WETLAND / SUB-SURFACE FLOW /PALM OIL MILL
JUTARAT NUSUK : USE OF SUB-SURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLANDS FOR PALM OIL MILL TERTIARY WASTEWATER TREATMENT.THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.ORRATHAI CHAVALPARIT, 108 pp. ISBN 974-17-3781-5

The objective of this research was to study the use sub-surface flow constructed wetland for palm oil mill tertiary wastewater treatment. *Typha angustifolia* was planted in three gravel bed constructed wetland. In this research, wastewater from the polishing pond, which had already been treated and stabilized by anaerobic pond, was feed with in flow rate of 0.26, 0.13 and 0.086 m^3/day. The corresponding hydraulic retention time were 5, 10 and 15 day. respectively.

The results revealed that constructed wetland unit with the flow rate at 0.086 m^3/ day and the retention time of 15 days, has the best removal efficiency. Consequently, this unit had high efficiencies of SS removal that was 90.49 %, and had slightly high efficiencies of BOD removal that was 74.11 %, however, it was higher than the standard. Moreover, the removal efficiencies of Color, COD and TKN had moderate efficiencies that were 61.65 %, 59.06 %, and 54.40 % respectively. The least efficiencies of TP removal that was 39.48 %. Moreover, when the influent flow rate decreased and retention time increased the constructed wetland had more SS Color COD BOD TKN and TP removal efficiency.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Inter-Department Environmental Science Student ’s signature……
Field of study Environmental Science Advisor ’s signature……...
Academic year 2003

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้แนะนำความรู้ ให้คำปรึกษาและชี้แนวทางในการทำวิจัยครั้งนี้ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร และ อาจารย์ ดร. อาจอง ประทัตสุนทรสาร ที่ช่วยกลั่นกรองและแก้ไขให้งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และสหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณธนารักษ์ พงษ์เภตรา ประธานกรรมการบริษัททักษิณปาล์ม (2521) จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์แก่ผู้วิจัย ในการทำการทดลองที่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแห่งนี้และสนับสนุนในเรื่องค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณเจนต์ แก้วเกื้อ หัวหน้าฝ่ายวิเคราะห์คุณภาพ บริษัททักษิณปาล์ม (2521) จำกัด และพี่ ๆ ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง จนงานวิจัยนี้สำเร็จลง

ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ฝ่ายปฏิบัติการกลาง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องการใช้เครื่องมืออุปกรณ์และห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจนเสร็จสิ้นการทดลอง

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกท่าน ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา-มารดา พี่ และ น้อง ที่สนับสนุนในทุก ๆ เรื่อง รวมทั้งให้ความรักและกำลังใจจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……..ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……จ
กิตติกรรมประกาศ……..ฉ
สารบัญ……ช
สารบัญตาราง……..ฌ
สารบัญรูป……...ญ
สารบัญภาพ……ฑ
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความเป็นมา……1
1.2 วัตถุประสงค์……...2
1.3 ขอบเขตการศึกษา……...2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร
2.1 บึงประดิษฐ์……4
2.2 ธูปฤาษี……...15
2.3 อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม……17
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ
3.1 แผนการทดลอง……32
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง……..32
3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง……36
3.4 ขั้นตอนการวิจัย……37
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์
4.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง……..39
4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำของบึงประดิษฐ์……...……...40
4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1, 2และ 3……65
4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตามระยะทางของบึงประดิษฐ์……...….71
4.5 การนำบึงประดิษฐ์ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม……76

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง…….78

5.2 ข้อเสนอแนะ……..79

รายการอ้างอิง…….80

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลการทดลอง……83

ภาคผนวก ข การคำนวณอัตราการไหลและระยะเวลาเก็บกัก……103

ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยเครื่อง HPLC……....106

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์…….……....108

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 หน้าที่ของพืชโผล่พ้นน้ำในระบบบึงประดิษฐ์.....8
ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสและอัตราการนำไปใช้ของพืช.....9
ตารางที่ 2.3 ชนิดของพืชที่พบทั่วไปในพื้นที่ชุ่มน้ำ.....11
ตารางที่ 2.4 กลไกการบำบัดน้ำเสียในบึงประดิษฐ์.....13
ตารางที่ 2.5 เกณฑ์ในการออกแบบบึงประดิษฐ์.....15
ตารางที่ 2.6 คุณลักษณะน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มก่อนเข้าระบบบำบัดและ
ออกจากระบบบำบัดประจำปี พ.ศ. 2546.....27
ตารางที่ 3.1 อัตราการไหลและระยะเวลาเก็บกักของบึงประดิษฐ์.....37
ตารางที่ 3.2 จุดเก็บตัวอย่าง ตัวแปร และความถี่ในการวิเคราะห์.....38
ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์.....38
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ป้อนเข้าบึงประดิษฐ์.....39

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน…….....5
รูปที่ 2.2 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวดิ่ง……....6
รูปที่ 2.3 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน…….... 7
รูปที่ 2.4 การถ่ายเทออกซิเจนบริเวณจากพืช……..….16
รูปที่ 2.5 ผังกระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบหีบเปียก…….....19
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างผังกระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม……..20
รูปที่ 2.7 ผังระบบบำบัดน้ำเสียบริษัททักษิณปาล์ม(2521)จำกัด……....26
รูปที่ 3.1 ผังการไหลของน้ำเสียและแปลงทดลองที่ใช้ในงานวิจัย……..…...32
รูปที่ 3.2 ภาพตัดด้านบนของบึงประดิษฐ์……...…33
รูปที่ 3.3 ภาพตัดด้านข้างแนวยาวของบึงประดิษฐ์……...…..33
รูปที่ 3.4 ภาพตัดด้านข้างแนวกว้างของบึงประดิษฐ์……..……33
รูปที่ 3.5 การเรียงตัวกลางในบึงประดิษฐ์……...…34
รูปที่ 3.6 จุดเก็บตัวอย่างน้ำและตำแหน่งท่อเก็บตัวอย่างน้ำภายในระบบบึงประดิษฐ์……..…….35
รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1……...….41
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1……...…41
รูปที่ 4.3 ค่าสีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1……...…...42
รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1…….....42
รูปที่ 4.5 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่1...43
รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอยของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่1..44
รูปที่ 4.7 ปริมาณบีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1……..44
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1……....45
รูปที่ 4.9 ปริมาณซีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1……....45
รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1…….46
รูปที่ 4.11 ปริมาณทีเคเอ็นของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1……....46
รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1……...47
รูปที่ 4.13 ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1……...47
รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1……..…48

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.15 ค่าพีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2……....49
รูปที่ 4.16 อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2……....49
รูปที่ 4.17 ค่าสีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2……..…50
รูปที่ 4.18 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2……..50
รูปที่ 4.19 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่2.. .51
รูปที่ 4.20 ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอยของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่2..52
รูปที่ 4.21 ปริมาณบีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2……..52
รูปที่ 4.22 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2……53
รูปที่ 4.23 ปริมาณซีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2……..54
รูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2……54
รูปที่ 4.25 ปริมาณทีเคเอ็นของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2……...55
รูปที่ 4.26 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2……..55
รูปที่ 4.27 ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2…….56
รูปที่ 4.28 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2……...56
รูปที่ 4.29 ค่าพีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3……....57
รูปที่ 4.30 อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3……..58
รูปที่ 4.31 ค่าสีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3……58
รูปที่ 4.32 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3……59
รูปที่ 4.33 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3...63
รูปที่ 4.34 ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอยของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3..60
รูปที่ 4.35 ปริมาณบีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3……...61
รูปที่ 4.36 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3……..61
รูปที่ 4.37 ปริมาณซีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3……...62
รูปที่ 4.38 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3……..62
รูปที่ 4.39 ปริมาณทีเคเอ็นของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3……....63
รูปที่ 4.40 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3……...63

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.41 ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3……...64
รูปที่ 4.42 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3……..64
รูปที่ 4.43 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีของบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อ……..……....66
รูปที่ 4.44 สีของน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์.....67
รูปที่ 4.45 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อ.....68
รูปที่ 4.46 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อ……...68
รูปที่ 4.47 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อ……...69
รูปที่ 4.48 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อ……..…...70
รูปที่ 4.49 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อ…….....71
รูปที่ 4.50 ประสิทธิภาพการกำจัดสีตามระยะทางของของบึงประดิษฐ์ทั้ง 3 บ่อ……..……72
รูปที่ 4.51 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยตามระยะทางของบึงประดิษฐ์ทั้ง 3 บ่อ…….73
รูปที่ 4.52 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีตามระยะทางของบึงประดิษฐ์ทั้ง 3 บ่อ……..……73
รูปที่ 4.53 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตามระยะทางของบึงประดิษฐ์ทั้ง 3 บ่อ……74
รูปที่ 4.54 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นตามระยะทางของบึงประดิษฐ์ทั้ง 3 บ่อ…….....75
รูปที่ 4.55 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสตามระยะทางของบึงประดิษฐ์ทั้ง 3 บ่อ……75
รูปที่ 4.56 แนวโน้มการลดลงของค่าบีโอดีเมื่อระยะเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้น…….....77

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มในประเทศไทย มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัด กระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร ตรัง และสตูล การขยายตัวของพื้นที่ปลูกทำให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันมากขึ้น ส่งผลให้โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเพิ่มจำนวนขึ้นให้เพียงพอกับความต้องการในการแปรรูปผลผลิต โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะแบ่งออกตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ 1 คือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีกระบวนการผลิตแบบหีบแห้งหรือสกัดรวม ซึ่งจะสกัดโดยใช้ผลปาล์มย่างบนเตา ทำให้ไม่มีน้ำทิ้งเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ส่วนประเภทที่ 2 คือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีกระบวนการผลิตมาตรฐานแบบหีบเปียก จะใช้ไอน้ำและความร้อนในการนึ่งผลปาล์ม ซึ่งก่อให้เกิดน้ำทิ้งในปริมาณมาก และโรงงานประเภทนี้ส่วนใหญ่จะเป็นโรงงานที่มีขนาดใหญ่และมีกำลังการผลิตสูง

ในงานวิจัยครั้งนี้จะศึกษาเฉพาะโรงงานที่มีกระบวนการผลิตมาตรฐานแบบหีบเปียก เนื่องจากมีน้ำทิ้งเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต และน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณมลสารสูง โดยน้ำทิ้งเหล่านี้จะถูกบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้นและขั้นที่สอง ซึ่งส่วนใหญ่จะบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพ มีลักษณะเป็นบ่อผึ่งธรรมชาติเรียงต่อกันแบบอนุกรมจำนวนหลายบ่อ และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วยังมีปริมาณมลสารและค่าต่าง ๆ สูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ ประกอบกับสีของน้ำเสียมีสีน้ำตาลถึงดำคล้ำ ถ้าปล่อยออกสู่ภายนอกจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อการใช้น้ำของชุมชนและปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา โดยทำให้เกิดการเน่าเสียของน้ำและรบกวนสมดุลทางนิเวศน์ที่เป็นอยู่ โดยเฉพาะสีของน้ำเสียจะส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำและการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น ทำให้ปัจจุบันโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจึงไม่มีการปล่อยน้ำเสียออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ แต่จะมีการนำน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ในการรดต้นไม้ สนามหญ้า และสวนปาล์ม เป็นต้น

ในอนาคตกฎหมายควบคุมทางด้านสิ่งแวดล้อมเข้มงวดมากขึ้น ซึ่งจะต้องมีการบำบัดน้ำเสียของโรงงานให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนด จึงจะต้องมีการบำบัดหรือมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นจำเป็นจะต้องหาวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย

ให้มีคุณภาพดีขึ้น จึงได้ศึกษาการใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเสริมจากระบบเดิมที่มีอยู่ เนื่องจากบึงประดิษฐ์ใช้เงินลงทุนค่อนข้างต่ำ ใช้พลังงานน้อย แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียใกล้เคียงกับระบบบำบัดน้ำเสียประเภทอื่น ได้มีการนำบึงประดิษฐ์มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน และอุตสาหกรรมบางประเภท ซึ่งคุณลักษณะน้ำเสียส่วนใหญ่จะมีสารอินทรีย์สูง พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดค่อนข้างดี แต่การใช้บึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มยังเป็นเรื่องค่อนข้างใหม่ โดยเฉพาะการบำบัดสีในน้ำเสีย จึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สามจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี ของแข็งแขวนลอย ซีโอดี บีโอดี ธาตุอาหารไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน

3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของอัตราการไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบและระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียที่มีต่อประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน เป็นระบบการทดลองนำร่อง จำนวน 3 บ่อ ซึ่งบรรจุตัวกลางกรวด และปลูกต้นธูปฤาษี (Typha angustifolia)

2. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง เป็นน้ำเสียจริงจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนและบ่อผึ่งแล้ว โดยมีการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ 3 ค่า คือ 0.26, 0.13 และ 0.086 ลบ.ม/วัน คิดเป็นระยะเวลาเก็บกัก 5, 10 และ 15 วัน ตามลำดับ โดยดำเนินการป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหลแต่ละค่าเป็นเวลา 2 เดือน

3. พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ ได้แก่ อุณหภูมิ สี พีเอช ของแข็งแขวนลอย ซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็นและฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งจากระบบและที่ระยะต่าง ๆ ในบึงประดิษฐ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์สำหรับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้

2. ได้ข้อมูลขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่ปลูกต้นธูปฤาษี ที่อัตราการไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ และระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียต่างกัน เพื่อสามารถนำไปออกแบบระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 บึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands)

คำว่า Wetlands หรือพื้นที่ชุ่มน้ำ หมายถึง พื้นที่ซึ่งดินมีน้ำขังอิ่มตัวไม่ลึกนัก และมีพืชน้ำขึ้นงอกงาม ระบบนิเวศน์เป็นไปตามธรรมชาติ มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยา โดยอาศัยพืชทั้งที่จมน้ำอยู่และลอยตัว และจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่รวมทั้งดินเป็นตัวบำบัด พืชที่อยู่ในบึงช่วยเป็นพื้นที่ในการยึดเกาะของจุลินทรีย์และช่วยในการกรองและการดูดซับสารปนเปื้อนในน้ำเสีย

พื้นที่ชุ่มน้ำที่ใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ บึงธรรมชาติ (Natural Wetlands) และบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands) ซึ่งรวมถึงระบบที่ใช้บำบัดน้ำเสียโดยพืชที่เจริญในน้ำตื้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) บึงธรรมชาติ (Natural Wetlands) ประกอบด้วยพืชชนิดต่าง ๆ ขึ้นปะปนกันรวมถึงหนอง (Marsh) จะพบพืชที่โผล่พ้นน้ำ พืชที่ไม่มีลำต้น และบ่อ (Swamp) จะพบพืชที่มีลำต้นเป็นส่วนใหญ่

2) บึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands) เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นที่ใดที่หนึ่ง มีหลายรูปทรง ส่วนใหญ่ปลูกพืชล้มลุกมากกว่าไม้ยืนต้นหรือไม้พุ่ม บึงประดิษฐ์ซึ่งใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่พัฒนามาจากบึงธรรมชาติ และถูกออกแบบให้สามารถควบคุมปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำ ทำให้การทำงานค่อนข้างคงที่และมีประสิทธิภาพดีกว่าบึงธรรมชาติ

การใช้บึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียกำลังได้รับการพัฒนาอย่างกว้างขวาง ทั้งสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากการออกแบบก่อสร้างไม่ซับซ้อน การดูแลรักษาระบบไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีมากนัก จึงไม่จำเป็นต้องใช้บุคลากรในการดำเนินระบบ มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบน้อย ระบบมีความยืดหยุ่นสูงสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราภาระบรรทุกต่าง ๆ และสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ (Metcalf และ Eddy,1991)

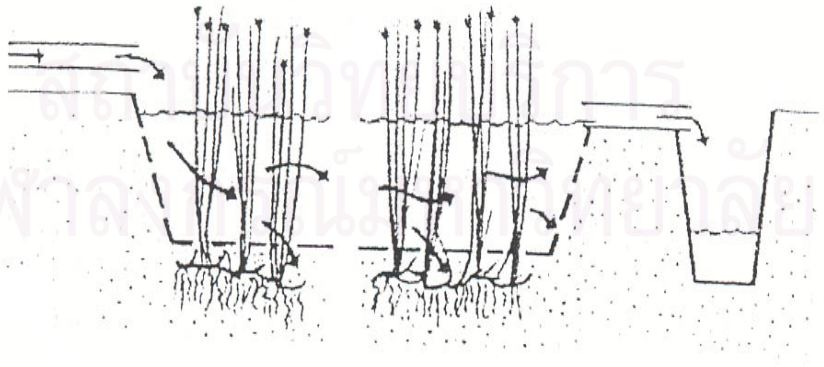
บึงประดิษฐ์ขนาดเล็กอาจสร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียอย่างเดียว แต่บึงประดิษฐ์ขนาดใหญ่อาจสร้างเพื่อบำบัดน้ำเสีย และมีผลพลอยได้โดยเป็นที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติของสัตว์และพืช การก่อสร้างบึงประดิษฐ์สามารถทำได้เกือบทุกพื้นที่ โดยการปรับปรุงจากพื้นที่ธรรมชาติ หรือสร้างขึ้นใหม่โดยการขุดและปรับปรุงพื้นที่ให้เหมาะสม

2.1.1 ประเภทของบึงประดิษฐ์

การแบ่งประเภทของบึงประดิษฐ์จะแบ่งตามลักษณะการไหลของน้ำในบึงประดิษฐ์ ได้ 2 ประเภท คือ แบบน้ำไหลเหนือผิวดิน (Free Water Surface, FWS) และแบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow, SF) ซึ่งลักษณะสมบัติของระบบทั้งสองเป็นดังนี้

2.1.1.1 แบบน้ำไหลเหนือผิวดิน (Free Water Surface, FWS)

เป็นบึงประดิษฐ์ที่น้ำเสียไหลผ่านผิวหน้าดินหรือตัวกลาง ซึ่งน้ำเสียจะสัมผัสกับอากาศโดยตรง จากนั้นซึมลงสู่พื้น ระดับน้ำไม่ลึกมากนัก ประมาณ 0.3 เมตร กว้างประมาณ3 - 5 เมตร และยาวกว่า 100 เมตร การบำบัดน้ำเสียจะเป็นไปในลักษณะตามยาว (Plug Flow) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยปล่อยให้น้ำเสียเข้าระบบอย่างช้า ๆ ผ่านก้านต้นพืชและรากพืช ซึ่งเป็นขั้นตอนหลักที่ทำการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้ การเติมอากาศในระบบมาจากพืช ลมพัด และจากการสังเคราะห์แสง



รูปที่ 2.1 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือผิวดิน (Brix H.,1993)

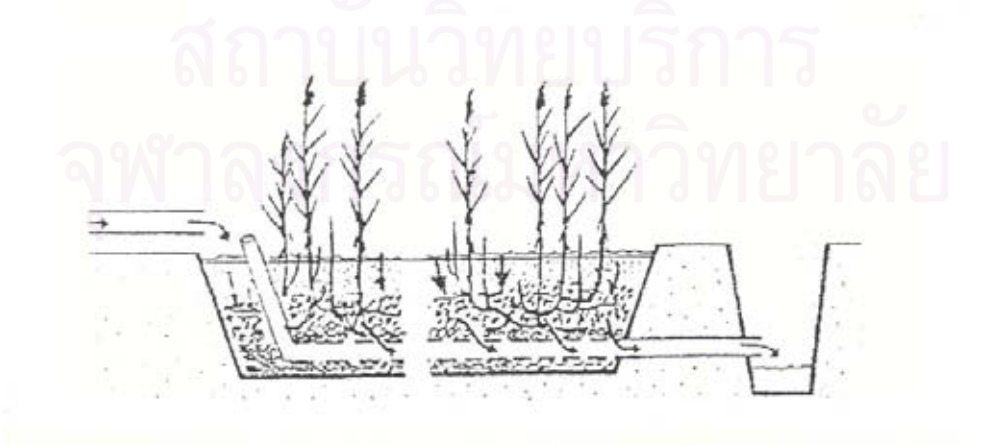
2.1.1.2 แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow, SF)

เป็นบึงประดิษฐ์ที่ออกแบบให้น้ำเสียไหลผ่านชั้นตัวกลางของระบบ น้ำเสียจะได้รับการบำบัดเมื่อไหลผ่านชั้นตัวกลางและรากพืช โดยสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลาย ฟอสฟอรัสและโลหะหนักจะถูกจับในชั้นดิน ระบบนี้อาศัยการเติมอากาศด้วยพืชเป็นหลัก โดยชั้นตัวกลางนี้จะมีสภาวะไร้อากาศ แต่ออกซิเจนจากรากพืชจะช่วยในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศ ซึ่งจุลินทรีย์ดังกล่าวจะเกาะอยู่ตามรากพืช ในบึงประดิษฐ์จะบรรจุตัวกลาง ได้แก่ หินบด หินย่อย กรวดขนาดต่าง ๆ ดินและทราย ความหนาของชั้นตัวกลางประมาณ 60 - 70 เซนติเมตร ระดับน้ำในบึงจะควบคุมให้ต่ำกว่าผิวตัวกลางเล็กน้อย

บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน แบ่งได้ 2 ชนิด ตามลักษณะการไหล ดังนี้

1) การไหลตามแนวดิ่ง (Vertical subsurface flow)

มีการกระจายน้ำทั่วพื้นที่ทั้งหมดของระบบ โดยน้ำเสียจะไหลผ่านชั้นตัวกลางในแนวดิ่งดังแสดงในรูปที่ 2.2 จะทำการเพิ่มออกซิเจนโดยให้น้ำแบบครั้งคราว (intermittent loading) ทำให้เกิดสภาพมีอากาศและไม่มีอากาศสลับกัน ในระหว่างการเติมน้ำเข้าระบบ อากาศจะถูกดันออกจากช่องว่างระหว่างเม็ดดิน แต่เมื่อชั้นดินแห้ง อากาศจะกลับเข้ามาอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินอีกครั้ง ซึ่งเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้ดิน ซึ่งการแพร่ของออกซิเจนเข้าสู่ชั้นดินจะเพิ่มขึ้นระหว่างช่วงที่ดินแห้ง ซึ่งกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น (nitrification) ดีไนตริฟิเคชั่น (denitrification) และการดูดซับฟอสฟอรัส (P – adsorption) ได้ดี



รูปที่ 2.2 ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวดิ่ง (Brix H.,1993)

2) การไหลตามแนวนอน (Horizontal subsurface flow)

ระบบมีลักษณะเช่นเดียวกับแบบการไหลแนวดิ่ง คือ ภายในบรรจุตัวกลาง เช่น หิน กรวด ทราย น้ำเสียจะไหลอย่างช้า ๆ ผ่านตัวกลางในแนวราบ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ระหว่างที่น้ำเสียผ่านตัวกลางจะสัมผัสกับจุลินทรีย์ที่มีออกซิเจนบริเวณ aerobic zones ซึ่งเกิด รอบ ๆ รากและชั้นรากพืช โดยที่น้ำเสียจะถูกบำบัดด้วยกระบวนการทางกายภาพและเคมี

รูปที่ 2.3 ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน (Brix H.,1993)

2.1.2 องค์ประกอบของบึงประดิษฐ์

การบำบัดน้ำเสียโดยใช้บึงประดิษฐ์ จะอาศัยองค์ประกอบของบึงประดิษฐ์ 4 ประการ ได้แก่ พืช ตัวกลาง จุลินทรีย์ และน้ำ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1.2.1 พืช

พืชเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ โดยทำหน้าที่หลักในการสร้างสิ่งแวดล้อมให้กับจุลินทรีย์ ช่วยชะลอการไหลและลดความเร็วของน้ำ ช่วยเพิ่มการตกตะกอนของสารแขวนลอย รากเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ ใบ ลำต้นและรากเป็นตัวนำก๊าซจากชั้นบรรยากาศลงมายังราก ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ทำให้บริเวณรอบ ๆ รากฝอยเกิดแผ่นฟิล์มบาง ๆ ที่มีอากาศส่วนบริเวณที่ห่างออกไปจะเกิดสภาพไร้ออกซิเจน ซึ่งรอยต่อบริเวณนี้มีความสำคัญต่อการใช้สารอาหารของพืช เป็นบทบาทที่สำคัญในการกำจัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และมลสารอื่น ๆ ในน้ำเสีย เช่น โลหะหนัก สารอินทรีย์ที่ย่อยยาก เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 หน้าที่ของพืชโผล่พ้นน้ำในระบบบึงประดิษฐ์ (Brix,1997)

ส่วนประกอบของพืช	บทบาทในกระบวนการบำบัด
ส่วนที่อยู่เหนือน้ำ	- ลดความเข้มแสง เพื่อลดการเจริญเติบโตของไฟโตแพลงตอน - ป้องกันอิทธิพลจากสภาพอากาศในฤดูหนาว - ลดความเร็วลมเพื่อป้องกันการแขวนลอยของตะกอน - ช่วยให้ระบบดูสวยงาม - สะสมอาหาร
ส่วนที่อยู่ใต้น้ำ	- ลดความเร็วของกระแสน้ำ เพิ่มการตกตะกอน ลดการฟุ้งกระจายของตะกอนใต้น้ำ - กรองตะกอนขนาดใหญ่ - เป็นพื้นที่ผิวสำหรับการจับของไบโอฟิล์ม - ปล่อยออกซิเจนเพื่อการสังเคราะห์แสง ช่วยเพิ่มการย่อยสลายโดยออกซิเจน - ดูดซับสารอาหาร
รากและระบบพืชในชั้นตะกอนใต้น้ำ	- ทำให้ผิวตะกอนใต้น้ำถูกกัดเซาะน้อย - ป้องกันการอุดตันของตัวกลางในระบบการไหลในแนวดิ่ง - ปล่อยออกซิเจนเพื่อเพิ่มการย่อยสลายและการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น - ดูดซับสารอาหาร - ปล่อยสารปฏิชีวนะแอนติไบโอติก (antibiotic)

อัตราการใช้สารอาหารของพืชถูกจำกัดด้วยอัตราการเจริญเติบโตสุทธิและความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อพืช ความเข้มข้นของสารอาหารในพืชมีค่าสูง (มากกว่า 25 กรัมต่อกิโลกรัมเนื้อเยื่อ) ในพืชที่มีอายุน้อยและลดลงเมื่อโตเต็มที่ (Reddy and Debusk,1987) ความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อพืชและการจับใช้ (uptake) ของพืชแต่ละชนิดแสดงในตาราง 2.2

ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส และอัตราการนำไปใช้ของพืช (Reddy and Debusk,1987)

พืช	อัตราการนำไปใช้ (Kg/ha/yr)		ส่วนประกอบในเนื้อเยื่อ (g/Kg)		อัตราการเติบโต (ton/ha/yr)
	N	P	N	P	
ธูปฤาษี	600-2630	75-403	5-24	0.5-4	8-61
หญ้าทรงกระเทียม	125	18	8-27	1-3	-
อ้อ	225	35	18-21	2-3	10-60

บทบาทและความสำคัญของพืชที่ปลูกในบึงประดิษฐ์สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) ผลทางกายภาพ (physical effect)

พืชในระบบจะช่วยลดความเร็วของกระแสน้ำ ทำให้เกิดการการตกตะกอนที่ดีขึ้นและลดอัตราเสี่ยงต่อการพังทลายของหน้าดินหรือการฟุ้งของตะกอน เพิ่มเวลาสัมผัสระหว่างน้ำและผิวของพืช รากพืชที่หนาแน่นจะลดการเกิดร่องน้ำ (erosion channels)

2) ผลต่อ Hydraulic Conductivity ของดิน

ในระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลในแนวนอน การไหลของน้ำในบึงจะไหลไปตามร่องที่เกิดจากรากที่มีชีวิตและรากที่ตายแล้ว รวมทั้งไหลผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดดิน เมื่อระบบรากเจริญมากขึ้นจะรบกวนการเกาะตัวของดินทำให้ดินหลวมขึ้น นอกจากนี้เมื่อรากและลำต้นใต้ดิน (rhizome) ตายและเกิดการย่อยสลาย อาจเหลือลักษณะเป็นโพรงหรือร่องซึ่งเพิ่มความเสถียรของ Hydraulic Conductivity ของดิน โดยโครงสร้างของระบบโพรงที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและสภาพของการเติบโต ซึ่งมีผลอย่างมากต่อการกัดเซาะในแปลงพืช

3) เป็นที่ยึดเกาะสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

ส่วนของลำต้นและใบของพืชที่อยู่ใต้น้ำจะเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ เนื้อเยื่อของพืชจะมีสาหร่ายที่สังเคราะห์แสงได้เกาะอยู่หนาแน่น รวมทั้งจุลินทรีย์และโปรโตซัว เช่นเดียวกับรากและลำต้นใต้

ดิน นอกจากนี้ยังมีไบโอฟิล์มที่เกาะกับซากพืชที่ตายแล้ว ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในระบบบึงประดิษฐ์เช่นกัน

4) การดูดซับสารอาหาร

พืชจะดูดสารอาหารจำนวนมากโดยเฉพาะทางราก นอกจากนี้ลำต้นที่อยู่ในน้ำและในส่วนที่มีน้ำล้อมรอบก็ดูดสารอาหารได้เช่นกัน พืชที่โผล่พ้นน้ำสามารถดูดสารอาหารซึ่งจะถูกกำจัดต่อไปโดยการเก็บเกี่ยวซึ่งพบว่ามีประมาณ 30 – 150 กก. ฟอสฟอรัส/เฮกแตร์.ปี และ 200 – 2500 กก.ไนโตรเจน/(เฮกแตร์.ปี)

5) การปลดปล่อยทางราก

พืชน้ำจะปล่อยออกซิเจนจากรากสู่บริเวณรอบ ๆ ลำต้นใต้ดินอันเป็นผลต่อวงจรชีวเคมีทางธรณีต่อไป อัตราการปลดปล่อยออกซิเจนจากรากขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจน ความต้องการออกซิเจนของตัวกลางโดยรอบและความพรุนของผนังราก การซึมของออกซิเจนจากปลายรากทำให้เกิดการออกซิไดซ์และลดการเป็นพิษของสารพิษต่าง ๆ ในบริเวณรอบ ๆ ลำต้นใต้ดินพืชที่มีกลไกนำพาออกซิเจนจะสามารถปล่อยออกซิเจนจากรากได้มากกว่าพืชที่ไม่มีกลไกนี้ นอกจากนี้ระบบรากยังสามารถปล่อยสารอื่นที่ไม่ใช่ออกซิเจน เช่น กก สามารถปล่อยสารปฏิชีวนะจากรากซึ่งทำลายเชื้อโรคบางอย่างในน้ำเสียได้ หรือการปลดปล่อยสารบางอย่างที่ยับยั้งการเติบโตของพืชชนิดอื่นได้

ในปัจจุบันระบบบำบัดบึงประดิษฐ์จะนิยมใช้พืชพวกที่โผล่พ้นน้ำมากกว่าพืชลอยน้ำ เนื่องจากพืชลอยน้ำไม่สามารถทนกับอากาศหนาวและศัตรูพืชได้ พืชที่พบทั่วไปคือ ธูปฤาษี (*Typha spp.*) กก (*Scirpus spp.*) อ้อ (*Phragmites spp.*) หญ้าทรงกระเทียม (*Scipus spp.*) หญ้าคมบาง (*Carex spp.*) ตารางที่ 2.3 แสดงการกระจายของพืชเหล่านี้ในโลกและสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืช ธูปฤาษีพบได้ทั่วโลก เช่น ธูปฤาษีใบแคบ (*Typha augustifolia*) ธูปฤาษีใบกว้าง (*Typha latifolia*) ธูปฤาษีเป็นพืชที่เติบโตเร็ว โดยจะมีรากกระจายในแนวข้าง รากจะทะลุชั้นกรวดได้ประมาณ 30 เซนติเมตร สามารถทนน้ำท่วมและความแห้งแล้งได้ดี ธูปฤาษีจัดเป็นพืชที่ช่วยในการบำบัดน้ำเสีย โดยสามารถลดปริมาณบีโอดีและซีโอดีในน้ำเสียและช่วยกำจัดสารฆ่าแมลงและโลหะหนักบางชนิดได้

ตารางที่ 2.3 ชนิดของพืชที่พบทั่วไปในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Reed et al.,1988)

ชื่อสามัญและชื่อวิทยาศาสตร์	บริเวณที่พบ	อุณหภูมิ(°C)	ความเค็มสูงสุดที่ทนได้(ppt)	พีเอชที่เหมาะสม
ธูปฤาษี (*Typha spp.*)	ทั่วโลก	10-30	30	4-10
อ้อ (*Phragmites spp.*)	ทั่วโลก	12-33	45	2-8
กก (*Scirpus spp.*)	ทั่วโลก	16-26	20	5-7.5
หญ้าทรงกระเทียม (*Scipus spp.*)	ทั่วโลก	16-27	20	4-9
หญ้าคมบาง (*Carex spp.*)	ทั่วโลก	14-32	-	5

2.1.2.2 ตัวกลาง

ตัวกลาง หมายถึง ชั้นของวัสดุที่เป็นตัวกลางให้พืชยึดเกาะ ได้แก่ ดิน ทราย และกรวด อาจจะใช้ชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือใช้รวมกันก็ได้ เช่น ตัวกลางดินปนทราย ทรายปนกรวด เป็นต้น ลักษณะของตัวกลางควรมีค่าการซึมน้ำต่ำ มีปริมาณเพียงพอที่จะรักษาความชื้นให้พอเพียงกับการเจริญเติบโตของพืช ตัวกลางนอกจากจะเป็นที่ขึ้นอยู่ของพืชแล้ว ยังเป็นพื้นที่สำหรับประจุสารเชิงซ้อนและสารประกอบต่าง ๆ ทำปฏิกิริยากัน นอกจากนี้ยังเป็นที่เกาะอาศัยของจุลินทรีย์อีกด้วย ส่วนช่องว่างในตัวกลางจะเป็นช่องทางการไหลของน้ำเสียในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน ดังนั้นลักษณะทางกายภาพของดินหรือตัวกลาง จึงมีผลต่อการบำบัดน้ำเสีย ตัวกลางที่เป็นทรายหรือกรวด จะมีช่องว่างมากกว่าตัวกลางดินหรือดินเหนียว จึงทำให้ระยะเวลาสัมผัสระหว่างน้ำเสียกับตัวกลางจะน้อย และรากพืชสามารถแทงรากผ่านได้ง่าย และทำให้ระบบไม่เกิดการอุดตันในกรณีที่น้ำเสียมีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูง จึงต้องเลือกขนาดและชนิดตัวกลางที่เหมาะสม

ตัวกลางที่ใช้ในการทดลองนี้คือ กรวด เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าสู่บึงประดิษฐ์เป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมาแล้ว จึงต้องการระยะเวลาสัมผัสน้อย และไม่ก่อให้เกิดการอุดตันของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์

2.1.2.3 จุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่พบในบึงประดิษฐ์ ได้แก่ แบคทีเรีย รา สาหร่าย และโปรโตซัว การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นในส่วนที่จมอยู่ในน้ำของพืช ในดิน ทราย หรือเกาะบนตัวกลางโดยตรงจุลินทรีย์เหล่านี้จะเปลี่ยนสารปนเปื้อนในน้ำเสียให้เป็นอาหารและพลังงานเพื่อการดำรงชีวิต แบคทีเรียและสาหร่ายสามารถเพิ่มการตกตะกอนผลึกของเหล็ก แมงกานีส และโลหะบางชนิด กระบวนการต่าง ๆ ของแบคทีเรียจะส่งเสริมปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและรีดักชั่นของมวลสารต่าง ๆ แบคทีเรียจะยึดตัวมันเองติดกับระบบรากพืช และทำหน้าที่คล้ายกับที่ทำในระบบโปรยกรอง ความลึกของน้ำจะมีอิทธิพลต่อสภาวะการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนและการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน สภาวะการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีอิทธิพลมากกว่าเมื่อน้ำลึกมากกว่า 3 ฟุต แต่ในบริเวณน้ำตื้นสภาวะการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนจะมีอิทธิพลมากกว่า

2.1.2.4 น้ำ

น้ำที่ไหลผ่านเหนือและใต้ผิวดินจะพัดพาสารต่าง ๆ และก๊าซ มาให้จุลินทรีย์และช่วยพัดพาสิ่งที่ไม่จำเป็นทิ้งไปไม่ให้สะสมอยู่ในระบบ นอกจากนี้ยังช่วยสร้างสิ่งแวดล้อมให้กับกระบวนการทางชีวเคมีของจุลินทรีย์และพืช ความลึกและอัตราการไหลของน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์โดยอัตราการไหลของน้ำจะเป็นตัวกำหนดระเวลากักเก็บน้ำในระบบ

2.1.3 กลไกในการบำบัด

ในระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ สารมลพิษจะถูกกำจัดด้วยกระบวนการที่ซับซ้อนมากมาย ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วยการตกตะกอน การดูดซับโดยอนุภาคของดิน การสะสมในพืช และการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ พืชในระบบกำจัดสารมลพิษโดยตรงด้วยการออกซิไดซ์สารอินทรีย์และอนินทรีย์ในการสังเคราะห์แสง ซึ่งกระบวนการเหล่านี้อาจเกิดอย่างเป็นอิสระหรือเกิดมีผลต่อเนื่องกันได้ ซึ่งกลไกการบำบัดที่สำคัญของบึงประดิษฐ์แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 กลไกการบำบัดน้ำเสียในบึงประดิษฐ์ (Brix,1993)

องค์ประกอบในน้ำเสีย	กลไกการบำบัด
ของแข็งแขวนลอย	-การตกตะกอน/การกรอง
บีโอดี	-การย่อยสลายโดยจุลชีพ (aerobic and anaerobic) -การตกตะกอน
ไนโตรเจน	-ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันโดยจุลินทรีย์ -พืชนำไปใช้ -การระเหยของแอมโมเนีย
ฟอสฟอรัส	-การดูดซับโดยดิน (ปฏิกิริยาการดูดซับ-การตกตะกอนโดย aluminium,iron,calcium และ clay minerals ในดิน) -Plant uptake
เชื้อโรค	-การตกตะกอน/การกรอง -การตายตามธรรมชาติ -โดยรังสี UV -โดยสารปฏิชีวนะจากรากพืช

2.1.3.1 การกำจัดสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้จะจมสู่ก้นของบึงประดิษฐ์เมื่อความเร็วของน้ำลดลง ในขณะที่สารอินทรีย์ที่แตกตัวจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ตามรากพืช และที่แขวนลอยอยู่ ส่วนที่ย่อยสลายยากจะรวมตัวกับสารอินทรีย์ตกตะกอน ในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดินออกซิเจนจากบรรยากาศจะถูกดูดซับและแพร่ออกในชั้นรากพืชจำพวกธูปฤาษี ซึ่งจะมีชั้นรากลึกประมาณ 30 เซนติเมตร ผลกระทบต่ออัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์ใช้อากาศ ประกอบด้วย อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน พีเอช และความเข้มข้นสารอาหาร

2.1.3.2 การกำจัดตะกอนแขวนลอย

ของแข็งแขวนลอยถูกกำจัด โดยการตกตะกอนของของแข็งเกิดขึ้นภายใน 2-3 เมตรแรกจากทางน้ำเข้า อีกทั้งพืชยังทำหน้าที่กระจายน้ำเข้าและทำให้ความเร็วน้ำที่เข้ามาลดลง ซึ่งทำให้การตกตะกอนดีขึ้น ของแข็งคอลลอยด์และของแข็งที่ไม่ตกจมบางส่วนถูกกำจัดโดยการเกาะติดกับแบคทีเรีย การชนกัน (collision) การรวมกัน และการดูดซับกับสารอื่น ๆ

2.1.3.3 การกำจัดไนโตรเจน

การกำจัดไนโตรเจนในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ มีหลายกลไก คือ การนำไปใช้โดยพืช การระเหยในรูปแอมโมเนีย กระบวนการไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่น การกำจัดขึ้นกับรูปแบบของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ แอมโมเนียมจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรทโดย nitrifying bacteriaในบริเวณที่มีอากาศ และไนเตรทถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนโดย denitrifying bacteria ในบริเวณที่ไร้ออกซิเจน

2.1.3.4 การกำจัดฟอสฟอรัส

กลไกหลักในการกำจัดฟอสฟอรัสในบึงประดิษฐ์ คือ การตกตะกอน และการดูดซับโดยตะกอน ส่วนกลไกรอง คือ การดูดซับโดยพืชและการตกตะกอน

2.1.3.5 การกำจัดเชื้อโรค

กลไกการกำจัดเชื้อโรคในบึงประดิษฐ์ ได้แก่ การตายตามธรรมชาติ การล่า การตกตะกอน และการดูดซับ แบคทีเรียจะถูกดูดติดกับผิวอนุภาคสารอนินทรีย์ และถูกกำจัดเมื่ออนุภาคนั้นตกตะกอนลง และยังอาจถูกดูดซับโดยพืช

2.1.3.6 การกำจัดโลหะหนัก

โลหะหนักเป็นสารอาหารรองที่พืชต้องการเพียงเล็กน้อย ซึ่งในการบำบัดในบึงประดิษฐ์โลหะหนักถูกกำจัดออกโดยการนำไปใช้ของพืช การตกตะกอนผลึก การแลกเปลี่ยนประจุ และการดูดซับกับตะกอนและสารประกอบอนินทรีย์

2.1.4 เกณฑ์ในการออกแบบบึงประดิษฐ์

ตัวแปรสำคัญในการออกแบบระบบบึงประดิษฐ์ ได้แก่ เวลากักเก็บน้ำ ความลึกของน้ำ อัตราภาระบีโอดี ภาระปริมาณน้ำ และพื้นที่ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เกณฑ์ในการออกแบบบึงประดิษฐ์ (Metcalf & Eddy,1991)

พารามิเตอร์	หน่วย	แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน	แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน
เวลาเก็บกักน้ำ	วัน	4-15	4-15
ความลึกของน้ำ	เมตร	0.10-0.60	0.30-0.76
อัตราภาระบีโอดี	กก./เฮกแตร์-วัน	≤67	≤67
ภาระปริมาณน้ำ	เมตร/วัน	0.014-0.147	0.014-0.147
พื้นที่	เฮกแตร์/1000ลบ.ม-วัน	2.14-7.16	2.14-7.16

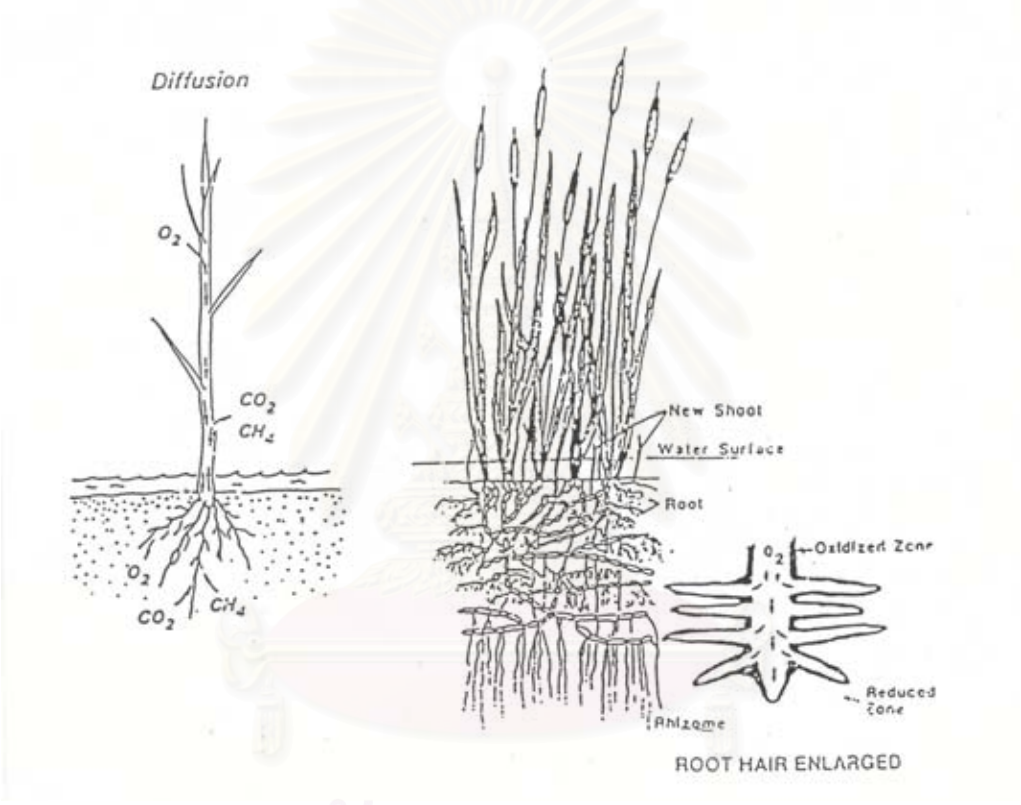
การออกแบบระบบบำบัดบึงประดิษฐ์จะต้องมีอัตราภาระสารอินทรีย์ไม่มากเกินไป เพื่อป้องกันการเกิดสภาวะไร้อากาศโดยอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เหมาะสมควรมีค่าอยู่ในช่วง 60 – 80 กก.บีโอดี/เฮกแตร์-วัน

2.2 ธูปฤาษี

ธูปฤาษี (*Typha spp* ; Family Typhaceae) เป็นพืชที่แพร่กระจายทั่วไปในภูมิภาคต่างๆ ของโลก ถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ในยุโรปและอเมริกา ธูปฤาษีเจริญเติบโตบริเวณหนองน้ำตื้นๆ หรือแหล่งน้ำทั่วไป เป็นพืชที่แข็งแรงทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม จัดเป็นพืชที่มีอายุข้ามปี ลำต้นใต้ดินเป็นแบบ Rhizome แตกกิ่งก้านสาขาแผ่กระจาย ระบบรากเป็นแบบรากฝอยสามารถเจริญแผ่ออกไปได้อย่างกว้างขวางและระบบรากดังกล่าวยังสานกันระหว่างกันใต้ผิวดิน ลำต้นเหนือดินแข็ง ประกอบด้วยใบแตกออกเป็นแผงสองแนวทางด้านข้าง แผ่นใบเรียวยาว โคนใบแผ่เป็นกาบอวบหนาหุ้มประคองต้นไว้ ใบแก่อยู่ด้านนอกหุ้มใบอ่อนไว้ กาบใบด้านในมีเมือกเหนียวๆ ขอบใบหนา โคนใบอวบหนากว่าปลายใบ แผ่นใบมีสีเขียวเข้ม เมื่อออกดอก ช่อดอกเป็นแบบ Spike แน่นๆ รูปทรงกระบอก ก้านช่อดอกยาวเรียวแข็งและมักชูช่อดอกสูงเกือบเท่าใบ ช่อดอกมีลักษณะเหมือนธูปใหญ่ ดอกย่อยแยกเพศ ดอกตัวผู้อยู่ตอนบน ดอกตัวเมียอยู่ด้านล่าง ดอกตัวผู้เมื่อแก่จะร่วงหลุดไปเหลือแต่ก้าน ส่วนดอกตัวเมียนั้นกลายเป็นผลอัดกันอยู่ตอนล่าง มีสีน้ำตาลจับดูจะรู้สึกนุ่ม ส่วนดอกตัวผู้ประกอบด้วยกลีบรวมที่เปลี่ยนรูปไปเป็นขนบางๆ ซึ่งมีลักษณะเรียวยาวปลายขนแผ่แบนเล็กน้อย เกสรตัวผู้มีจำนวน 2 - 5 อัน ก้านชูอับเรณูแยกหรือติดกัน ประกอบด้วยอับเรณู 2 ช่อง ดอกตัวเมียประกอบด้วยกลีบรวม ลักษณะเป็นขนเรียวยาวจำนวนมาก รังไข่เป็นรูปกระสวยที่มี 1 ช่อง และมีไข่อ่อนแค่ 1 ใบ ยอดเกสรตัวเมียมีก้านชูตรงปลายแผ่แบน นอกจากนี้มีดอกตัวเมียที่เป็นหมันแทรกอยู่ด้วย สังเกตได้โดยพบว่ารังไข่ที่ไม่

สมบูรณ์จะพองใหญ่ แต่ไม่มียอดเกสรตัวเมีย ผลขนาดเล็ก เปลือกแข็งมีเมล็ดเพียง 1 เมล็ด เมื่อแก่จะปลิวไปได้ไกลเพราะมีขนเป็นจำนวนมาก

ธูปฤาษีเป็นพืชที่ช่วยในการบำบัดน้ำเสียได้ โดยจะมีการปลดปล่อยออกซิเจนบริเวณผิวราก ซึ่งก่อให้เกิด oxidized zone (Armstrong,1964;Stephen และ Richardson,1989) ดังแสดงในรูป 2.4 จากนั้นออกซิเจนที่ปลดปล่อยออกมาจะแพร่เข้าสู่พื้นน้ำและมีส่วนช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำให้ดีขึ้นเนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.4 การถ่ายเทออกซิเจนบริเวณรากพืช (Hammer D.A.and Bastian R.K.,1989)

กล่าวได้ว่ากลไกการลำเลียงออกซิเจนของธูปฤาษีจำแนกเป็น 2 กลไกหลัก คือ

1) การแพร่ (Diffusion)

เป็นการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำกว่า โดยออกซิเจนที่เคลื่อนย้ายนี้อาจพบได้ในการแพร่

ของออกซิเจนจากบรรยากาศสู่พื้นน้ำ และการแพร่ออกซิเจนเข้าสู่ต้นฐูปฤาษีโดยผ่านทางช่องปากใบหรือช่องว่างอื่นของต้นฐูปฤาษีที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน

2) กระบวนการเทอร์โมออสโมซิส (Thermoosmosis)

เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายออกซิเจนอย่างต่อเนื่องผ่านทางช่องว่างของเซลหรือของกลุ่มเซลในฐูปฤาษีที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน เป็นการเคลื่อนย้ายของโมเลกุลออกซิเจนผ่านช่องขนาดเล็กมาก อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิและความกดอากาศของสองด้านของเซล ทั้งนี้เพื่อปรับเข้าสู่สมดุลของความกดอากาศปกติ เมื่อแผ่นใบพืชได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิผิวพื้นของแผ่นใบเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในแผ่นใบ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองด้านทำให้เกิดความแตกต่างของความกดอากาศระหว่างสองด้าน หากผนังที่กั้นระหว่างสองด้านนั้นมีขนาดเล็ก อากาศจะเคลื่อนย้ายจากด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า(ความกดอากาศสูงกว่า)ไปยังด้านที่มีอุณหภูมิสูงกว่า(ความกดอากาศต่ำกว่า) หากระดับความแตกต่างของอุณหภูมิผิวพื้นที่มาก อัตราการเคลื่อนย้ายออกซิเจนก็มีมากขึ้นด้วย

ด้วยเหตุที่โมเลกุลของอากาศพยายามรักษาระดับสมดุลของพลังงาน จึงทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของอากาศไปยังเซลที่อยู่ด้านล่างถัดลงไป ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศอย่างต่อเนื่องไปจนถึงระบบราก และ rhizome ของต้นฐูปฤาษีที่อยู่ข้างเคียงได้เนื่องจากความต่อเนื่องของระบบเซลและท่อลำเลียงที่พัฒนามาจาก rhizome ของต้นแม่ต้นเดียวกัน

2.3 อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม

เป็นการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร คือ ผลปาล์มสด ให้อยู่ในรูปของน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จะถูกส่งไปยังโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์ม เพื่อผ่านกรรมวิธีการกลั่นให้เป็นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์สำหรับอุตสาหกรรมอาหารจำพวกนมข้นหวาน บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ขนมขบเคี้ยว น้ำมันพืชสำหรับใช้ประกอบอาหาร เป็นต้น

อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยที่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะกระจายตัวอยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร ตรัง สตูล และสงขลา โดยมีทั้งโรงงานขนาดใหญ่และเล็กตั้งอยู่ในบริเวณดังกล่าว เพื่อรองรับผลปาล์มสดจากพื้นที่เพาะปลูก

2.3.1 ประเภทของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสามารถแบ่งออกตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.3.1.1 โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีกระบวนการผลิตแบบหีบเปียกหรือสกัดแยก

เป็นโรงงานที่สกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ไอน้ำและความร้อน และจะมีการสกัดน้ำมันปาล์มแยกกันระหว่างน้ำมันจากเนื้อเยื่อผลปาล์มกับน้ำมันจากเมล็ดใน โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มประเภทนี้จะมีขนาดใหญ่ และมีกำลังการผลิตสูง จากการที่ในกระบวนการผลิตมีการใช้น้ำจึงทำให้โรงงานประเภทนี้มีน้ำเสียเกิดขึ้นในปริมาณมาก ซึ่งจะต้องอาศัยการจัดการทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ดี นอกจากนี้ยังมีของเหลือจากกระบวนการผลิตในรูปของเส้นใย กะลา ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำได้ ส่วนทะลายเปล่าสามารถนำมาใช้เพาะเห็ด และกากตะกอนน้ำมันปาล์มสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

2.3.1.2 โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีกระบวนการผลิตแบบหีบแห้งหรือสกัดรวม

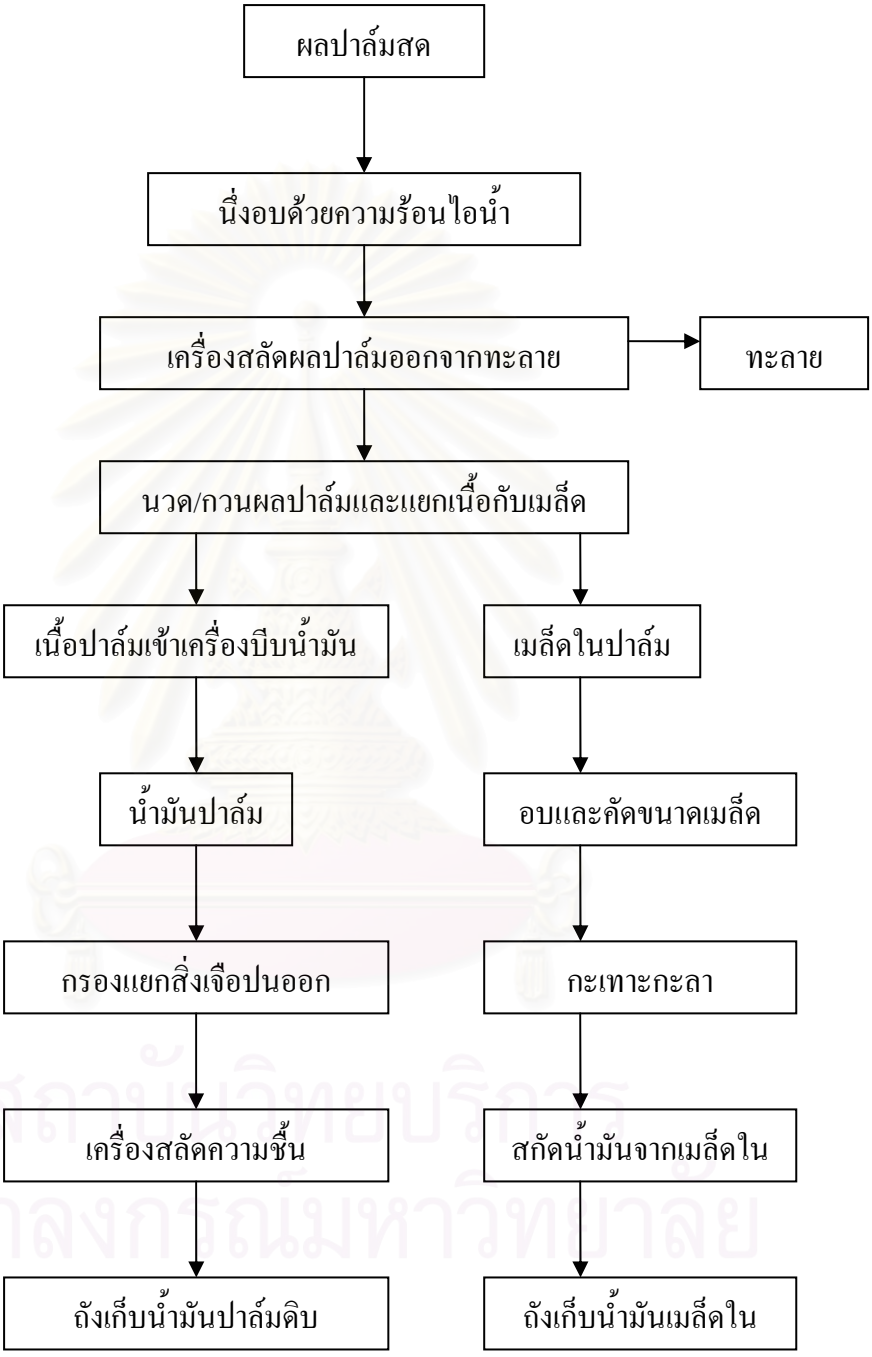
เป็นโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้น้ำในปริมาณน้อย และในการสกัดน้ำมันปาล์มจะสกัดน้ำมันจากผลปาล์มและน้ำมันจากเมล็ดใน ซึ่งน้ำมันที่ได้จะมีราคาต่ำกว่าน้ำมันบริสุทธิ์ที่ผลิตจากเนื้อเยื่อผลปาล์มเพียงอย่างเดียว โรงงานประเภทนี้ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กและใช้เงินลงทุนต่ำ ในส่วนของของเหลือจากกระบวนการผลิตจะอยู่ในรูปของกากปาล์ม ซึ่งสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

ในงานวิจัยครั้งนี้ จะศึกษาเฉพาะโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีกระบวนการผลิตมาตรฐานแบบหีบเปียกเท่านั้น เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีน้ำทิ้งเกิดขึ้นและก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

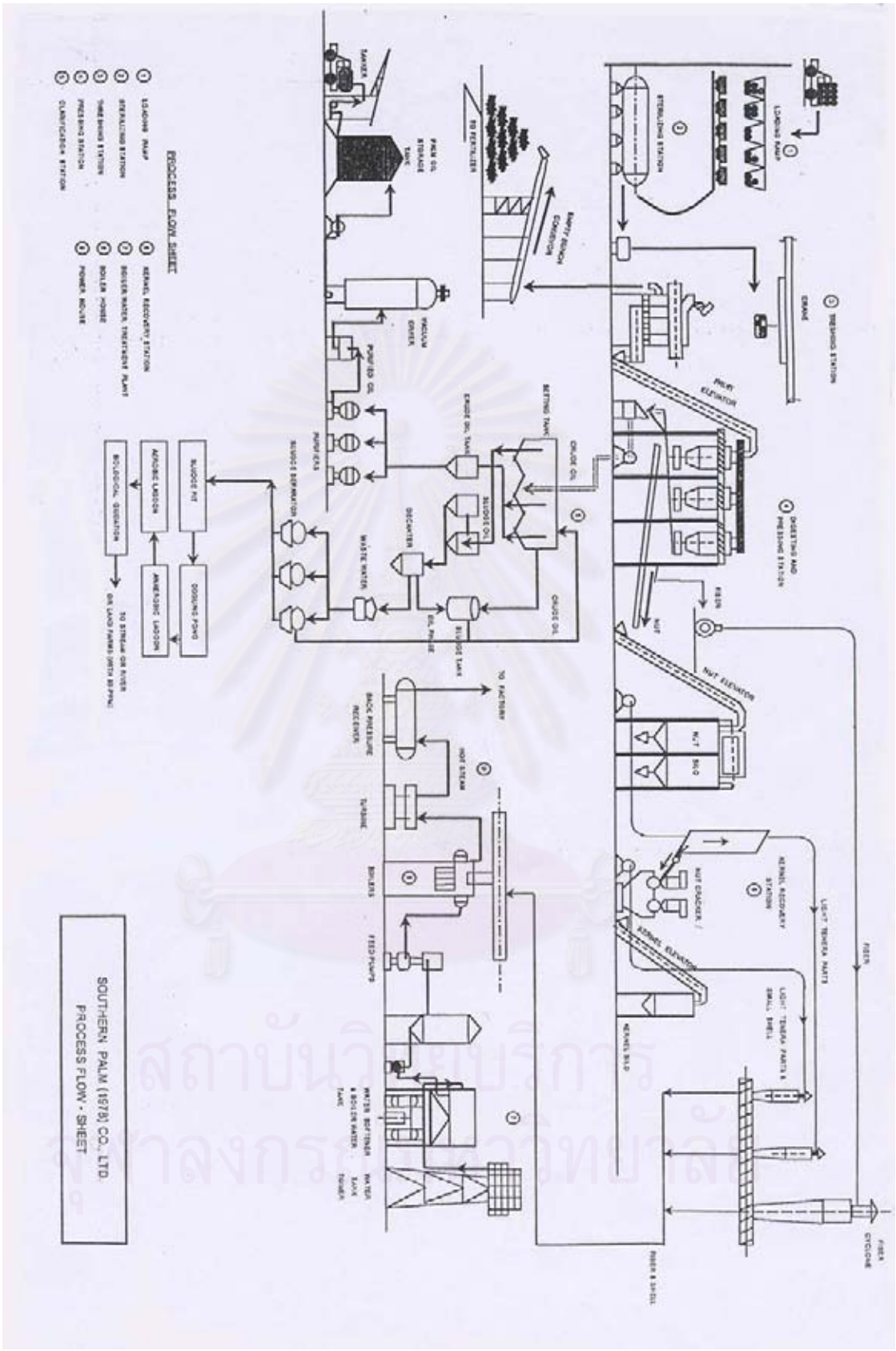
2.3.2 กระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีกระบวนการผลิตมาตรฐานแบบหีบเปียก (Standard Wet Process)

กระบวนการผลิตแบบหีบเปียกนั้นจะใช้ไอน้ำในการอบนึ่งผลปาล์มให้เปื่อยนิ่มจากนั้นแยกทะลายออก และหีบสกัดน้ำมันปาล์มออกมา น้ำมันที่ได้จะแยกเอาสิ่งเจือปนและทำให้สะอาดยิ่งขึ้นจนได้เป็นน้ำมันปาล์มดิบเพื่อรอจำหน่ายต่อไป ดังแสดงผังกระบวนการผลิตในรูปที่ 2.5

และตัวอย่างผังกระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม บริษัททักษิณปาล์ม(2521) จำกัด แสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งกระบวนการผลิตจะแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 2.5 ผังกระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบหีบเปียก
(กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน,2545)



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างผังกระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
(บริษัททักษิณปาล์ม (2521) จำกัด)

2.3.2.1 การรับผลปาล์มและชั่งน้ำหนัก

ผลปาล์มที่ทางโรงงานรับซื้อส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปทะลายปาล์มสด ซึ่งจะต้องมีการชั่งน้ำหนักและตรวจวัดคุณภาพผลปาล์มสด จากนั้นก็จะจัดเก็บบนลานเพื่อรอสกัดน้ำมันต่อไป

2.3.2.2 การอบและนึ่งผลปาล์ม

ผลปาล์มสดที่ผ่านการชั่งและส่งขึ้นลานเทปาล์ม จะถูกบรรจุลงในกระบะบรรจุปาล์มและเคลื่อนผ่านรางเข้าสู่หม้ออบนึ่งไอน้ำที่ความดัน 3 บาร์ ใช้เวลาประมาณ 70-90 นาที โดยในขั้นตอนนี้จะทำให้ผลปาล์มนุ่มง่ายต่อการหีบ และเป็นการยับยั้งปฏิกิริยาไลโปไลซีสที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม

2.3.2.3 การนวดแยกทะลายจากผลปาล์ม

ผลปาล์มที่อบนึ่งสุกแล้วจะถูกส่งเข้าหม้อกวน ซึ่งในระหว่างการกวนจะมีการเพิ่มความร้อนด้วยไอน้ำ เพื่อแยกส่วนที่เป็นน้ำมันหรือเนื้อเยื่อผลปาล์มออกจากส่วนที่เป็นเมล็ดในสะดวกแก่การหีบหรือบีบน้ำมันออกในขั้นตอนต่อไป

2.3.2.4 การหีบหรือบีบน้ำมันจากผลปาล์ม

ผลปาล์มที่ผ่านการกวนจนนิ่มหรือเละแล้ว จะถูกป้อนเข้าเครื่องบีบน้ำมัน (Screw Press) เพื่อแยกน้ำมันออกจากส่วนที่เป็นเมล็ดในที่ยังไม่ได้กะเทาะเปลือก สำหรับน้ำมันปาล์มในส่วนเส้นใยจะถูกส่งผ่านตะแกรงกรองน้ำมัน เพื่อสกัดเส้นใยและสิ่งเจือปนออก ก่อนนำไปผ่านกรรมวิธีกรองแยก เส้นใยจะถูกส่งไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ เมล็ดในที่ยังไม่ได้กะเทาะเปลือกจะผ่านกรรมวิธีการอบกะเทาะและแยกเมล็ดใน

2.3.2.5 การกรองแยกน้ำมันปาล์มออกจากสิ่งเจือปน

น้ำมันปาล์มที่ผ่านตะแกรงกรองน้ำมันจะถูกส่งขึ้นถังกรองแยกและเพิ่มอุณหภูมิหรือทำน้ำมันให้ร้อนโดยการเพิ่มน้ำร้อนให้น้ำมันลอยตัว แล้วใช้กรวยดักเก็บน้ำมัน เพื่อลดปริมาณความชื้นและสิ่งเจือปนเหลือเพียงประมาณ 0.5 % หลังจากนั้นน้ำมันปาล์มก็จะถูกส่งผ่านอุปกรณ์ขจัดความชื้นโดยใช้สูญญากาศ ดูดความชื้นและสิ่งเจือปนให้ลดลงเหลือประมาณ 0.1 %

ซึ่งน้ำมันปาล์มที่ผ่านขั้นตอนนี้แล้วเป็นน้ำมันดิบที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน และจะถูกส่งเข้าถังเก็บเพื่อรอส่งจำหน่ายต่อไป สาหรับน้ำมันปาล์มที่ปนมากับน้ำร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิต จะถูกส่งเข้าอุปกรณ์แยกน้ำ Sludge Separator หรือ Sludge Centrifuge เพื่อนำน้ำมันส่วนนี้กลับเข้าสู่กรรมวิธีกรองแยกอีกครั้งหนึ่ง

2.3.2.6 การอบ กะเทาะ และแยกเมล็ดใน

เมล็ดในปาล์มที่ยังไม่ได้กะเทาะเปลือก จะถูกส่งเข้าไซโลอบเมล็ดใน เพื่ออบให้เปลือกและกะลาแห้งและกรอบ สะดวกต่อการกะเทาะเมล็ดใน จากนั้นจึงแยกเมล็ดในและกะลาออกจากกันโดยผ่านเครื่องแยกกะลาออกจากเมล็ดใน ทั้งนี้กะลาปาล์มจะถูกส่งไปเป็นเชื้อเพลิงเสริมสำหรับหม้อไอน้ำ ส่วนเมล็ดในที่กะเทาะเปลือกแล้วจะถูกส่งขึ้นถังอบให้แห้งก่อนจะบรรจุกระสอบส่งจำหน่ายต่อไป

2.3.2.7 การบีบน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ

เมล็ดในที่ผ่านการกะเทาะเปลือกและอบแห้งแล้ว จะถูกนำไปตีให้แตกด้วยเครื่องตีเมล็ดใน แล้วบดด้วยเครื่องบดเมล็ดใน ก่อนนำเข้าเครื่องบีบเมล็ดใน กากของเมล็ดในที่ได้จะถูกนำไปบรรจุกระสอบส่งขายเป็นอาหารสัตว์ ส่วนน้ำมันที่ได้จะถูกนำไปกรองเพื่อทำความสะอาดด้วยเครื่องกรองน้ำมันเมล็ดใน ก่อนนำน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบที่ได้บรรจุถังเพื่อรอจำหน่าย

2.3.3 ปริมาณและน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเกือบทั้งหมดเกิดจากน้ำที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งมาจาก 5 แหล่งใหญ่ คือ

2.3.3.1 น้ำจากการนึ่งปาล์ม

เป็นน้ำทิ้งจากการอบทะลายปาล์มด้วยไอน้ำ น้ำส่วนนี้แม้จะมีน้ำมันอยู่แต่มีสารแขวนลอยต่ำและไม่มีสภาพเป็นอิมัลชัน โดยทั่วไปการอบทะลายปาล์ม 25 ตันจะมีน้ำนึ่งปาล์มเกิดขึ้นประมาณ 2 – 3 ลบ.ม.

2.3.3.2 น้ำทิ้งจากการแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน

น้ำทิ้งส่วนนี้เกิดขึ้นมากที่สุดและเป็นน้ำทิ้งที่มีของแข็งแขวนลอยมาก กรณีที่ใช้ decanter ในการแยกน้ำทิ้งจากการแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน จะมีน้ำสลัดจ์ที่ถูกแยกออกมาประมาณ 0.35 ลบ.ม./ 1 ตันทะลายปาล์มสด และในกรณีที่ใช้ separator จะมีน้ำสลัดจ์ที่ถูกแยกออกประมาณ 0.65 ลบ.ม./1ตันทะลายปาล์มสด

2.3.3.3 น้ำทิ้งจากการล้างทำความสะอาดเครื่องมือ

เครื่องมือที่ต้องทำความสะอาดบ่อยครั้งได้แก่

1) เครื่องแยกกรวดทราย

ต้องทำการล้างทุกครึ่งชั่วโมงใช้น้ำในการล้างประมาณ 0.05 – 0.1 ลบ.ม.

2) เครื่องแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน

เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งต้องมีการล้างทำความสะอาด ซึ่งจะมีน้ำทิ้งเกิดขึ้นครั้งละ 0.2 – 0.5 ลบ.ม.

3) เครื่องแยกเหวี่ยงความเร็วสูง

ต้องทำการล้างทุก 20 – 30 นาที ในการล้างจะใช้น้ำครั้งละ 0.05 – 0.06 ลบ.ม. นอกจากนี้ยังต้องล้างทำความสะอาดพื้น ถังพัก และภาชนะต่าง ๆ อีกด้วย

2.3.3.4 น้ำจากการหล่อเย็นหม้อกำเนิดไอน้ำและเครื่องระเหย

เป็นน้ำที่มีของแข็งแขวนลอยต่ำมากและยังสะอาดอยู่ ส่วนใหญ่จะมีการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

2.3.3.5 น้ำสลัดจ์จากเครื่องแยกเหวี่ยงความเร็วสูง (centrifuge)

มีน้ำทิ้งเกิดขึ้นประมาณ 0.03 – 0.15 ลบ.ม./ตันทะลายปาล์มสด (อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และคณะ,2539)

2.3.4 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

2.3.4.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น

น้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีแหล่งกำเนิดจากหลายแหล่ง ได้แก่ หม้อนึ่ง ฆ่าเชื้อ ห้องน้ำมัน (oil room) น้ำหล่อเย็นจากเครื่องระเหยน้ำออกจากน้ำมัน เครื่องลดความร้อนของน้ำมัน ซึ่งน้ำมันแต่ละแหล่งจะมีปริมาณมลสารหรือความสกปรกแตกต่างกัน จากนั้นจะทำการแยกน้ำเสียที่มีความสกปรกมากและน้อยออกจากกัน โดยน้ำเสียที่มีความสกปรกน้อยจะมีการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ตามความเหมาะสม ส่วนน้ำเสียที่มีปริมาณมลสารสูงก็จะส่งเข้าระบบบำบัดของทางโรงงานต่อไป

น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะมีอุณหภูมิสูงและมีน้ำมันปนอยู่ด้วย ในการบำบัดจะทำโดยใช้บ่อดักไขมัน ซึ่งกักน้ำเสียเอาไว้ทำให้อุณหภูมิลดลง และทำให้ไขมันลอยตัวขึ้นสู่ผิวบนของบ่อ จากนั้นจะมีการกวาดชั้นไขมันออกเป็นระยะ ๆ โดยไขมันส่วนนี้จะนำไปจำหน่ายเพื่อทำสบู่และเทียนไข ในส่วนของของแข็งแขวนลอยก็จะตกตะกอนบริเวณก้นบ่อในช่วงบ่อต้น ๆ ของระบบบำบัด ซึ่งจะมีการขุดลอกก้นบ่อเพื่อนำไปทำปุ๋ย

2.3.4.2 การบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิ

น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะบำบัดด้วยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์และไม่มีสารที่เป็นอันตรายต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ ซึ่งจะเป็นระบบบ่อคงตัว (stabilization ponds) หรือ oxidation pond ประกอบด้วย บ่อดินหรือบ่อกักเก็บน้ำทิ้งจำนวนหลาย ๆ บ่อ เรียงต่อกันแบบอนุกรม ซึ่งจะใช้พื้นที่ค่อนข้างมาก แต่มีการออกแบบไม่ซับซ้อน สามารถจำแนกลักษณะของบ่อบำบัดน้ำเสียตามลักษณะการทำงานของจุลินทรีย์ได้เป็น 3 ประเภท คือ Aerobic Pond , Facultative Pond และ Anaerobic Pond ดังนี้

1) Aerobic Pond

เป็นบ่อที่มีความลึก 0.3 – 0.45 เมตร มีออกซิเจนละลายอยู่ทั้งบ่ออาจมีการติดตั้งเครื่องเติมอากาศแบบผิวหน้าเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

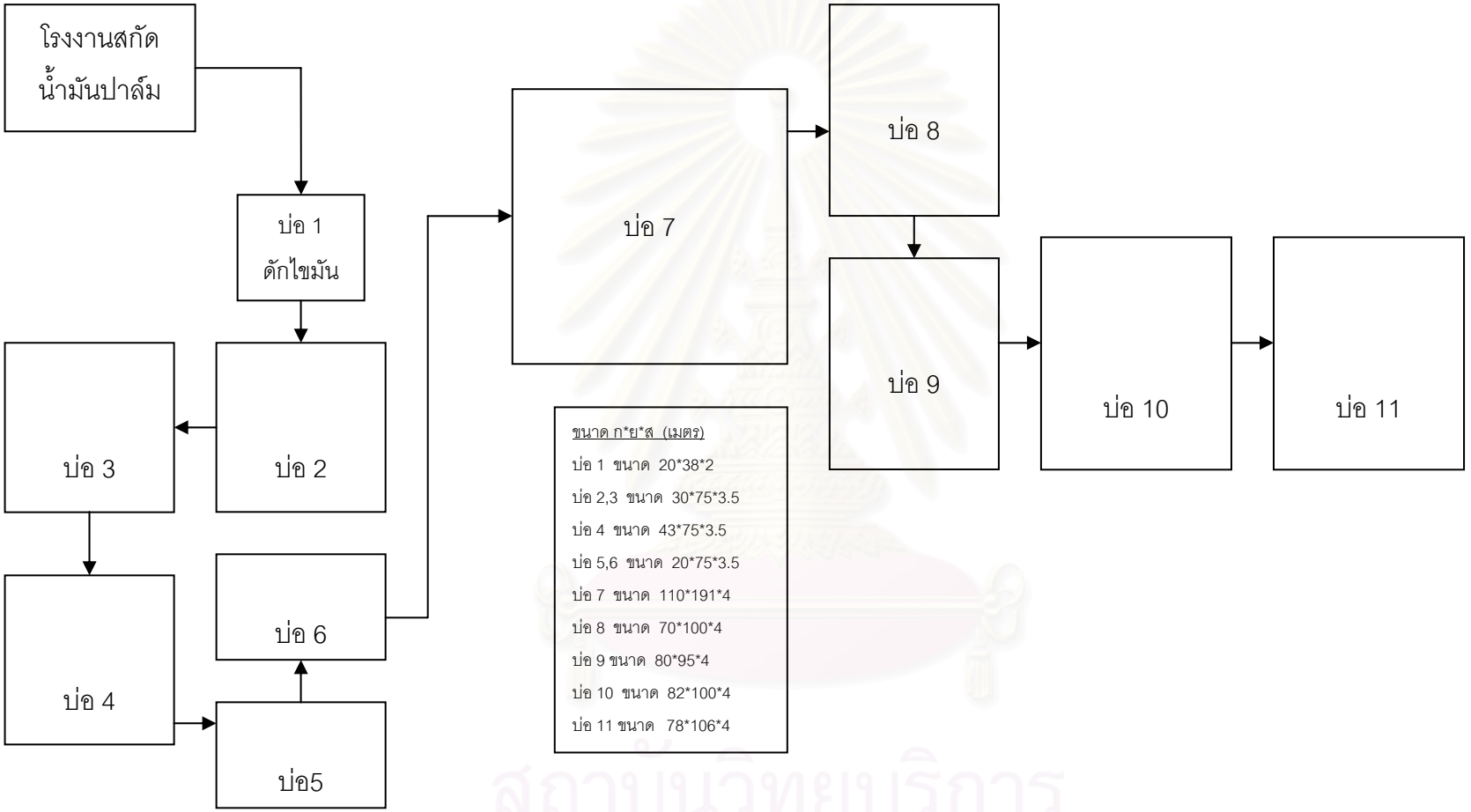
2) Facultative Pond

เป็นบ่อที่มีความลึก 1.0 – 1.5 เมตร มีออกซิเจนอยู่ทั้งบ่อยกเว้นก้นบ่อ น้ำทิ้งจะถูกกักเก็บไว้เป็นเวลาหลายวัน บริเวณส่วนบนของบ่ออยู่ในสภาพ aerobic จากการเติมอากาศที่ผิวหน้าหรือปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ส่วนบริเวณก้นบ่อที่มีสภาพ anaerobic ทำให้สารอินทรีย์ตกตะกอนและถูกย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ

3) Anaerobic Pond

เป็นบ่อที่มีความลึกมากกว่า 4 เมตร เป็นบ่อไร้อากาศมีออกซิเจนละลายอยู่น้อยมาก มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์และปริมาณตะกอนของแข็งสูง

อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งเป็นระบบบ่อผึ่งธรรมชาติ โดยน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเป็นน้ำที่มีอุณหภูมิสูงและมีน้ำมันหลงเหลืออยู่ จะถูกส่งไปยังบ่อดักไขมัน จากนั้นจะส่งต่อไปยังบ่อเก็บกักน้ำเสียที่มีจำนวนหลาย ๆ บ่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว นั่นคือ น้ำเสียจากบ่อสุดท้าย ก็ยังมีปริมาณมลสารสูงอยู่ดังแสดงในตารางที่ 2.6 ซึ่งเป็นข้อมูลคุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตก่อนเข้าระบบบำบัด และน้ำจากบ่อสุดท้ายของระบบบำบัด จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแห่งหนึ่งในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งเป็นตัวแทนของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในประเทศไทยที่ใช้ในการศึกษานี้



รูปที่ 2.7 ผังระบบน้ำเสียบริษัททักษิณปาล์ม (2521) จำกัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 คุณลักษณะน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบบำบัดและออกจากระบบบำบัดประจำปี พ.ศ. 2545

เดือน	ปริมาณน้ำทิ้ง (ลบ.ม./เดือน)	น้ำทิ้งก่อนเข้าระบบ (มก./ล.)					น้ำทิ้งออกจากระบบ (มก./ล.)				
		pH	TSS	TDS	BOD	Oil&Grease	pH	TSS	TDS	BOD	Oil&Grease
ม.ค	7,221.5	5.11	97,600	5,040	82,125	17,840	9.16	540	7660	174.2	66
ก.พ.	10,829.5	4.11	47,900	87,900	89,500	3,742	8.48	30	8325	237.5	37
มี.ค	8,082.1	4.82	40,800	28,900	66,750	4,796	9.18	150	7740	173.3	32
เม.ย.	11,176.0	4.62	27,000	153,000	65,890	11,937.5	9.21	1360	8460	135	230
พ.ค.	5,647.6	4.48	87,000	152,000	74,000	8,600	9.34	1100	9640	60	62
มิ.ย.	5,302.4	4.64	16,000	113,000	66,000	8,472	9.17	700	10000	160	96
ก.ค.	3,996.3	4.59	29,500	95,500	54,000	8,298	9.19	1900	10900	180	174
ส.ค.	5,263.2	4.45	10,000	86,000	50,800	13,966	9.13	1,700	9,600	170	78
ก.ย.	4,225.9	4.69	14,500	90,000	44,000	10,048	9.30	1,600	8,900	180	140
ต.ค.	3,857.4	4.51	15,500	87,000	44,000	16,106	9.14	1,900	7,200	100	132
พ.ย.	2,573.4	4.61	14,500	95,000	50,000	10,340	9.42	1,800	8,000	90	160
ธ.ค.	2,052.9	4.51	26,500	80,800	52,00	75,000	9.21	860	10,200	140	100

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการใช้บึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสีย

รัตนา ตรีรัตนภรณ์ (2542) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำขังใต้ดิน ในการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ และศึกษาทิศทางการสะสมแคดเมียมในระบบที่มีตัวกลาง 3 ชนิด คือ ทราย ดินปนทราย และดิน พบว่าดินมีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมได้มากกว่าทราย และแคดเมียมส่วนใหญ่สะสมอยู่ในตัวกลางดิน ดินปนทราย และ ทรายคิดเป็นร้อยละ 95.56, 95.53 และ94.47 ตามลำดับ ส่วนในพืชมีแคดเมียมสะสมอยู่ร้อยละ 0.08, 0.06 และ 0.08 ในระบบที่มีตัวกลางทราย ดินปนทราย และดิน ตามลำดับ

Kerniadie and Kunze (2000) ศึกษาการใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในการบำบัดน้ำทิ้งจากครัวเรือน ที่ตั้งอยู่ในเมืองบันดุง ประเทศอินโดนีเซีย พืชที่ปลูกในบึงประดิษฐ์ได้แก่ อ้อ จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการลด แอมโมเนียไนโตรเจน ฟอสเฟต ฟอสฟอรัส ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย บีโอดี และซีโอดี คิดเป็นร้อยละ 90.54, 68.59, 99.99, 85.58, และ 81.08 ตามลำดับ

วรากร เกิดทรัพย์ (2543) ศึกษาการใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่ออกจากระบบบำบัดก่อนระบายทิ้ง ทำการศึกษาโดยใช้ตัวกลางทราย ซึ่งปลูกพืช 2 ชนิด คือ ธูปฤาษีและเหงือกปลาหมอ พบว่าความสามารถในการบำบัดแปรผันกับระยะเวลาเก็บกักน้ำ และที่ระยะเวลาเก็บกักเท่ากันประสิทธิภาพในการบำบัดของแปลงที่ปลูกธูปฤาษีจะสูงกว่าแปลงที่ปลูกเหงือกปลาหมอ และแปลงที่ปลูกธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการบำบัด ของแข็งแขวนลอย สี ซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมดได้ร้อยละ 92, 65, 68, 89 ตามลำดับ

กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ (2544) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส จากน้ำเสียชุมชนโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน โดยมีตัวกลาง 2 ชนิด คือ ดินปนทราย และทรายปนหินชนวน และทำการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่างกัน เวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน อัตราการไหล 25 ลิตร/วัน และพืชที่ปลูก คือ ต้นธูปฤาษี จากการทดลองพบว่า บึงประดิษฐ์สามารถกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน โดยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจน มีค่าสูงสุดในบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย(ร้อยละ 94.23 และ 94.59) และประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสมีค่าสูงสุดในบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน(ร้อยละ 74.67)และพบว่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเข้าส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในตัวกลาง โดยตัวกลางดินปนทรายมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสสะสมอยู่ ร้อยละ 65.3 และ 36.0 ส่วนตัวกลางทรายปนหินชนวนมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสะสมอยู่ร้อยละ 53.8 และ 41.1 และบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดเมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นของซีโอดี 500 มก./ล ไนโตรเจน 40 มก./ล และฟอสฟอรัส 10 มก./ล ส่วนบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวนจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดเมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นของซีโอดี 500 มก./ล ไนโตรเจน 20 มก./ล และฟอสฟอรัส 5 มก./ล

พิจิตรา ชโยปถัมภ์ (2544) ศึกษาการทำงานของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืช 2 ชนิด คือ ธูปฤาษี และกกกลม ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นจากบ่อเก็บกักน้ำ ผลการทดลองพบว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกกกกลมและธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี อยู่ในช่วง 66 - 92 % ของแข็งแขวนลอย อยู่ในช่วง 70 - 97 % ทีเคเอ็น อยู่ในช่วง 72 – 96 % ฟอสฟอรัสทั้งหมด อยู่ในช่วง 39 - 81 % และพบว่าเมื่อเวลาเก็บกักนานขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีเพิ่มขึ้น

พิรัฐพล ตนานนท์ (2544) ศึกษาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอนเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นน้ำมันโดยในบึงประดิษฐ์ปลูกต้นธูปฤาษี ชั้นตัวกลางเป็น

ดินปนทราย และปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ 4 ค่า คือ 3, 6, 12, 16 ลิตร/วัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน ของแข็งแขวนลอย ทีเคเอ็น ทีโอซี และ ซีโอดี คิดเป็นร้อยละ 86.53, 61.68, 81.86, 28.86 และ 64.06 ตามลำดับ และพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันในน้ำเสียและอัตราการไหล

ธาริณี วัฒนเดชาชาญ (2545) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมรีแอกทีฟโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอนที่ปลูกต้นธูปฤาษีในตัวกลางทราย โดยปรับเปลี่ยนตัวแปรในการทดลอง คือ อัตราส่วนสีย้อมต่อน้ำตาลในรูปซีโอดี 3 ค่า คือ 1:0 1:5 และ 1:10 และปรับเปลี่ยนระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในบึงประดิษฐ์ 3 ค่า คือ 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน และรูปแบบการปลูกพืช แบบเต็มบึงและครึ่งบึง ผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้น้ำเสียสังเคราะห์สีแดง (C.IReactive Red 180) ความเข้มข้น 100 มก./ล. พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีและซีโอดีเท่ากับ 1:5 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน และปลูกพืชเต็มบึงประสิทธิภาพในการกำจัดสี ซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น เท่ากับร้อย 82, 83, 99 และ 89 ตามลำดับ และจากการทดลองใช้น้ำเสียจริงโดยกำหนดให้มีระยะเวลาเก็บกัก 7 วัน และปลูกพืชเต็มบึงพบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ซีโอดี และทีเคเอ็น เท่ากับร้อยละ 61, 65 และ 72 ตามลำดับ

Karathanasis (2003) ศึกษาการนำบึงประดิษฐ์มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนใน Kentucky โดยเปรียบเทียบระหว่างบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืช ได้แก่ ธูปฤาษี (*Typha latifolia L.*) และ Fescue (*Festuca aroundinacea Schreb.*) และพืชดอก กับบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทุก ๆ เดือน เป็นเวลา 1 ปี พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ ได้แก่ Fecal coliform, Fecal streptococci, BOD และ TSS พบว่า ประสิทธิภาพในการการบำบัดของทั้งสองบึงสามารถกำจัด Fecal coliform ได้มากกว่าร้อยละ 93 และพบว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพในการกำจัดดีกว่าบึงประดิษฐ์ที่ไม่ได้ปลูกพืช ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัด BOD และ TSS ในบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชได้มากกว่าร้อยละ 75 และ 88 ตามลำดับ ส่วนบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD และ TSS ได้มากกว่าร้อยละ 63 และ 46 ตามลำดับ เนื่องจากเนื่องจากบึงที่ปลูกพืชจะมีโซนรากที่จะเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้

Schulz และคณะ (2003) ศึกษาการนำบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ นั่นคือน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลา rainbow trout (*Oncorhyn chusmykiss*) โดยในบึงประดิษฐ์จะปลูกพืชคือ อ้อ (*Phragmites australis*) และใช้ตัวกลางทรายขนาด 1 – 2 มิลลิเมตร และบึงประดิษฐ์มีขนาดยาว 1.4 เมตร กว้าง 1 เมตร สูง 0.7 เมตร จำนวน 3 บ่อ และใช้อัตราภาระบรรทุกน้ำ 1, 3 และ 5 ลิตร/วัน มีระยะเวลาเก็บกักน้ำ 7.5, 2.5 และ 1.5 ชั่วโมงตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า บึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพในการกำจัด TSS COD TP และ Total nitrogen (TN) ได้คิดเป็นร้อยละ 95.8 – 97.3, 64.1 – 73.8, 49.0 – 68.5 และ 20.6 – 41.8 ตามลำดับ และพบว่าระยะเวลาเก็บกักน้ำดีที่สุดคือ 7.5 ชั่วโมง

Mantori และคณะ (2003) ศึกษาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน เพื่อการบำบัดน้ำทิ้งชุมชนที่ตั้งอยู่บริเวณภูเขา โดยมีปริมาณน้ำเข้าระบบ 6.5 ลบ.ม./วัน TSS มีค่า 0.7 กรัม/ลิตร COD มีค่าเท่ากับ 1200 มก./ล และบีโอดีมีค่า 450 มก./ล จากการทดลองพบว่าบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพในการกำจัด SS และ Organic load ได้ถึงร้อยละ 90 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 50 และ 60 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัด Coliform bacteria และ *Escherichia coli* ได้มากกว่าร้อยละ 99 และ 98 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถกำจัด Nitrates, Chloriles, Sulfates, Anionic, non-ionic และโลหะหนักได้ โดยพืชและ จุลินทรีย์ในระบบ ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่า คุณภาพน้ำดีขึ้นจนสามารถปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้

2.4.2 งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

Karim (1989) ศึกษาการใช้รา *Trichoderma viride* พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD จากน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ได้มากกว่าร้อยละ 95 ภายใน 10 – 14 วัน โดยทำการหมักเชื้อราตัวนี้ลงไป 1.37 – 1.42 กรัม/ลิตร (น้ำหนักแห้ง)

ปรีชา มุณีศรี (2538) ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้เชื้อ *Aspergillus niger* ATCC 6275, *A.oryzae*, *Candida tropicalis* F-129,*C.palmeoliophila* Y-128, สายพันธุ์ ST 4 และ ST 29 พบว่าสายพันธ์รา ST 29 สามารถกำจัดน้ำมันได้สูงสุดร้อยละ 99.65 ค่าซีโอดีลดลงร้อยละ 66 และทำการเลี้ยง *R. gelationosus* R 7 ในน้ำเสียจากบ่อบำบัดบ่อที่ 3 ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม พบว่าเมื่อเลี้ยงภายใต้สภาวะไร้อากาศ-ให้แสง มีประสิทธิภาพในการลดซีโอดีได้ร้อยละ 45 ส่วนที่สภาวะไร้อากาศ-ไร้แสง ค่าซีโอดีลดลงสูงสุดร้อยละ 74

Chin และคณะ (1996) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้ระบบบ่อ (pond system) ในการทดลองจะใช้บ่อจำนวน 8 บ่อ และอัตราการไหลของน้ำเข้าระบบเท่ากับ 600 ลบ.ม./วัน โดยในน้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณ COD, BOD และ oil เท่ากับ 45,000 – 65,000, 18,000 – 48,000 และ 2000 มก./ล ตามลำดับ และมีอัตราส่วน COD:N:P เท่ากับ 750:7.3:1 จากการทดลองพบว่าปริมาณ COD, BOD, แอมโมเนีย-ไนโตรเจน,ไนเตรท-ไนโตรเจน, TKN และ

ฟอสฟอรัสเท่ากับ 1725, 610, 115, 5, 200 และ 60 มก./ล ตามลำดับ ซึ่งน้ำทิ้งจากการบำบัดไม่สามารถปล่อยออกสู่ภายนอกได้ เพราะมีปริมาณ BOD สูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (50 มก./ล บีโอดี)

Borja และคณะ (1996) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนที่มีอัตราสูง แบบ up-flow anaerobic sludge blanked (UASB) reactor โดยน้ำเสียเข้าระบบมี COD 16.6 กรัม/ลิตร พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 0.9 วัน และสามารถกำจัด COD ได้ร้อยละ 90

จินตนา แก้วบริสุทธิ์ (2541) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยกระบวนการดูดซับในชั้นตรึง ศึกษาการกำจัดสีและ COD ในน้ำทิ้งโดยดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าว และทำจากไม้โกงกาง ซึ่งการทดลองจะผ่านน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางพื้นที่หน้าตัด 7 เซนติเมตร สูง 187 เซนติเมตร ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2, 4, 8 และ 16 ลบ.ซม/ตร.ซม/นาที พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อลดอัตราน้ำล้นผิวลง และพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำจากไม้โกงกาง สามารถดูดซับ COD และสีได้ดีกว่าถ่านที่ทำจากกะลามะพร้าว

Faisal และ Unno (2001) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้ Anaerobic baffled reactor โดยประสิทธิภาพสามารถลดมีเทนได้ร้อยละ 67.3 – 71.2 ในช่วงระยะเวลาเก็บกัก 3 – 10 วัน และมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ grease/oil ได้ร้อยละ 87.4 – 95.3 และ 44.1 – 91.3 ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดี

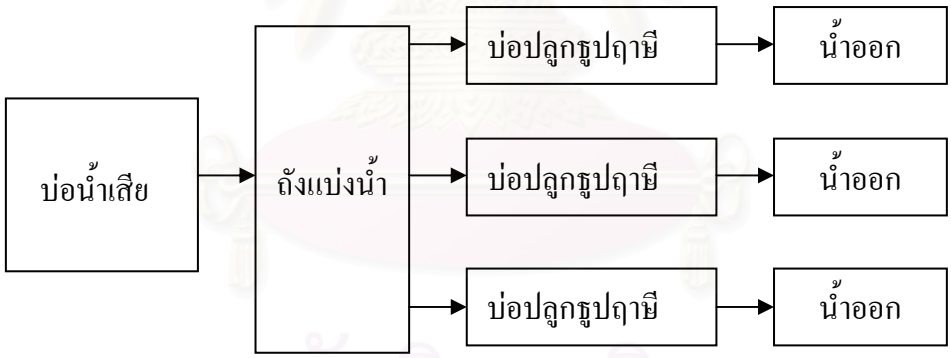
Ahmad และคณะ (2003) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ตั้งอยู่ในประเทศมาเลเซีย ซึ่งน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีปริมาณ total solids เท่ากับ 40,500 มก./ล น้ำมันและไขมันเท่ากับ 4000 มก./ล , COD มีค่าเท่ากับ 50,000 มก./ล และ BOD เท่ากับ 25,000 มก./ล โดยมีจุดประสงค์ในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสามารถใช้สูบกลับเข้าสู่ boiler หรือการผลิตน้ำดื่ม การทดลองนี้จะบำบัด 2 ขั้น โดยที่ขั้นตอนแรกจะอาศัยกระบวนการ Coagulation การตกตะกอนและการ adsorption ส่วนขั้นตอนที่สองจะใช้ ultrafitration และการออสโมซิสของ membranes ช่วยในการบำบัด ผลการทดลองพบว่าสามารถลดความขุ่น COD และ BOD ได้ร้อยละ 100, 98.8 และ 99.4 ตามลำดับ และน้ำเสียมีค่า pH สุดท้ายเท่ากับ 7 ดังนั้นจึงสามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว มาใช้ในกระบวนการผลิตโดยสูบเข้า boiler และสามารถนำน้ำมารดต้นไม้ได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน จำนวน 3 บ่อทดลอง ตัวกลางที่ใช้ คือ กรวด โดยในแต่ละบ่อจะปลูกต้นธูปฤาษี บ่อละ 39 ต้น และใช้น้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้ว เติมเข้าไปในบ่อธูปฤาษีแต่ละแปลงด้วยอัตราการไหลตามที่กำหนดในระบบเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดของบึงประดิษฐ์ โดยบ่อที่ 1 ป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 0.26 ลบ.ม./วัน มีระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน บ่อที่ 2 ป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 0.13 ลบ.ม./วัน มีระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน บ่อที่ 3 ป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 0.086 ลบ.ม./วัน มีระยะเวลาเก็บกัก 15 วัน คิดเป็นภาระชลศาสตร์เท่ากับ 2.7 1.34 และ 0.9 ซม./วัน ตามลำดับ รูปที่ 3.1 แสดงการไหลของน้ำเสียและบ่อทดลอง

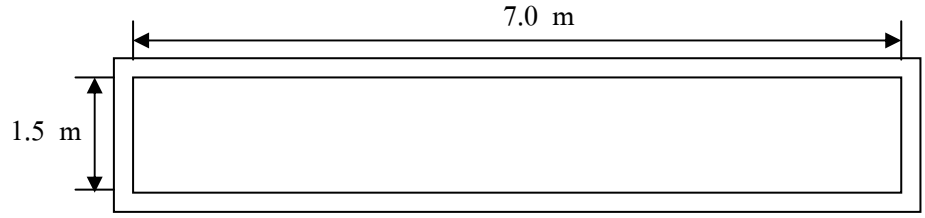


รูปที่ 3.1 ผังการไหลของน้ำเสียและแปลงทดลองที่ใช้ในงานวิจัย

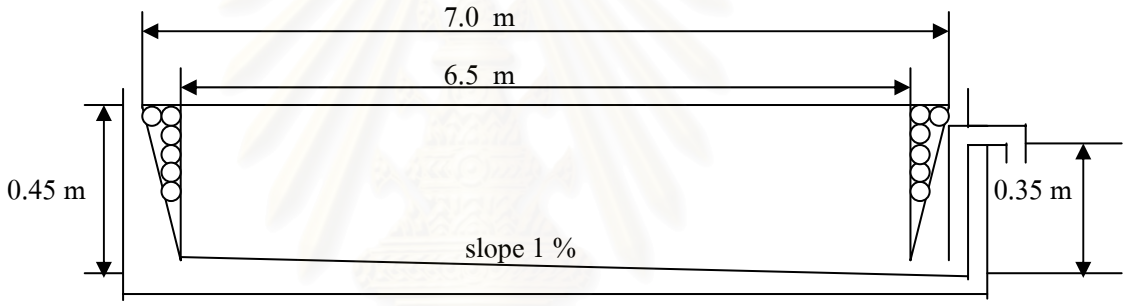
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 บึงประดิษฐ์

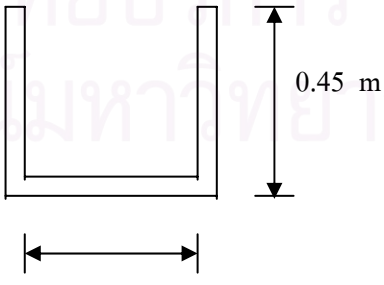
บึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการทดลอง มีจำนวน 3 บ่อ แต่ละบ่อมีขนาด กว้าง 1.5 เมตร ยาว 7.0 เมตร ลึก 0.45 เมตร พื้นมีความลาดเอียง 0.1 % ดังแสดงรายละเอียดภาพตัดด้านบนภาพตัดด้านข้างแนวยาวและภาพตัดด้านข้างแนวกว้าง ดังรูปที่ 3.2 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 ภาพตัดด้านบนของบึงประดิษฐ์



รูปที่ 3.3 ภาพตัดด้านข้างแนวยาวของบึงประดิษฐ์



รูปที่ 3.4 ภาพด้านข้างแนวกว้างของบึงประดิษฐ์

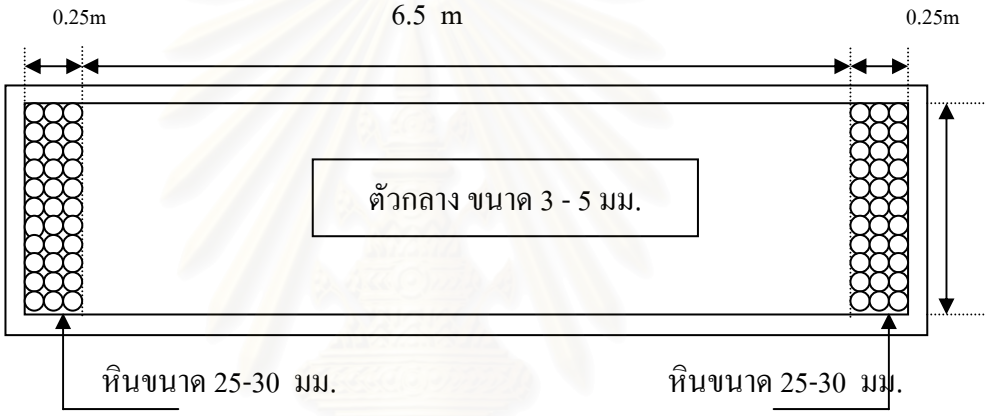
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 ตัวกลาง

ตัวกลางในบึงประดิษฐ์ ประกอบด้วย กรวดและมีการใส่หินเป็นส่วนกระจายน้ำดังแสดงในรูปที่ 3.5

1) กรวด ขนาด 3-5 มม. เป็นชั้นตัวกลางในแปลงทดลอง เพื่อให้น้ำเสียไหลผ่านและรากต้นไม้ยึดเกาะ ความลึกของกรวดเท่ากับ 0.40 เมตร

2) หิน ขนาด 25-30 มม. เป็นส่วนกระจายน้ำที่ระยะ 0.25 เมตร บริเวณหัวและท้ายแปลงทดลอง



รูปที่ 3.5 การเรียงตัวกลางในบึงประดิษฐ์

3.2.3 ถังกระจายน้ำ

ประกอบด้วย ถังเก็บน้ำที่มีลูกลอยเพื่อควบคุมระดับน้ำในถังให้อยู่ในระดับที่คงที่ ถังกระจายน้ำจะมีท่อน้ำออกที่ก้นถัง และควบคุมด้วย valve เพื่อปรับอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่บ่อทดลอง ในอัตราการไหลคงที่

3.2.4 ท่อน้ำเข้า

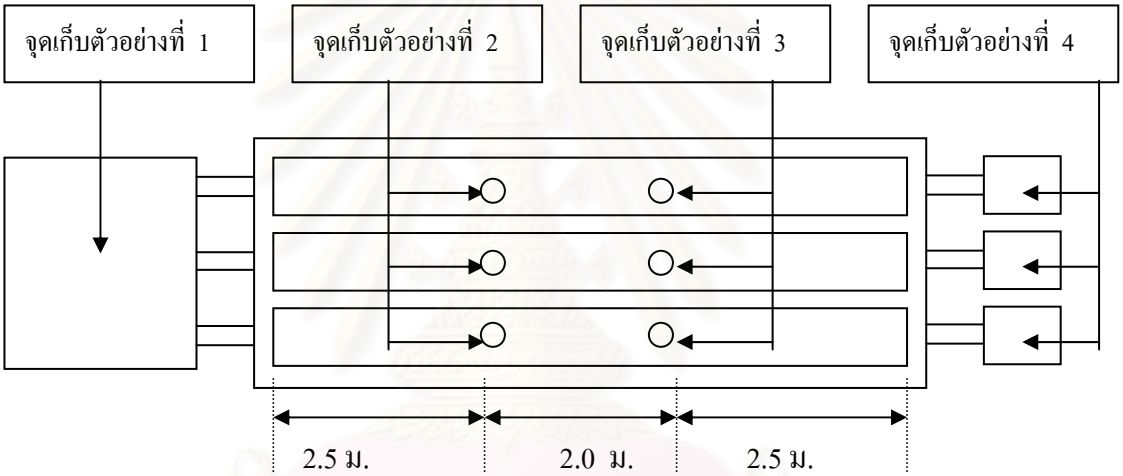
เป็นท่อพีวีซี เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ต่อจากถังกระจายน้ำไปยังส่วนหัวของบ่อทดลอง (ระยะ 0.25 เมตรแรก) โดยปลายท่ออยู่ที่ระดับผิวบนของชั้นตัวกลาง

3.2.5 ท่อเก็บตัวอย่างน้ำ

เป็นท่อพีวีซี เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว เจาะรูโดยรอบ ปลายด้านล่างมีตะแกรงหุ้ม วางตั้งฉากกับก้นบ่อ ปลายท่อด้านบนอยู่ระดับผิวบนของตัวกลาง 5 ซม. โดยติดตั้งที่ระยะ 2.5 และ 4.5 เมตร จากขอบบ่อด้านทางน้ำเข้า ตำแหน่งของท่อเก็บตัวอย่างน้ำแสดงดังรูปที่ 3.6

3.2.6 ท่อน้ำออก

เป็นท่อพีวีซี เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ต่อจากบึงประดิษฐ์ส่วนปลายบ่อ แล้วต่อเข้ากับถังเก็บน้ำออก



รูปที่ 3.6 จุดเก็บตัวอย่างน้ำและท่อเก็บตัวอย่างภายในระบบบึงประดิษฐ์

3.2.7 พืช

พืชที่ปลูกในระบบ คือ ต้นธูปฤาษี (*Typha Angustifolia*) ความหนาแน่นของพืชในระบบ คือ 4 ต้น/ตร.ม. ในแต่ละแปลงใช้จำนวน 39 ต้น ทั้ง 3 แปลง โดยมีตำแหน่งในการปลูก คือ ทุกต้นห่างจากผนัง 0.25 ม. ระยะห่างระหว่างต้นในแนวกว้างและแนวยาว 0.5 ม.

ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ที่ใช้จริงในการทดลอง ตั้งอยู่ที่บริษัททักษิณปาล์ม (2521) จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 บึงประดิษฐ์จริงที่ใช้ในการทดลอง

3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 ตัวแปรกำหนด

คือ ตัวแปรที่มีการควบคุมให้คงที่ตลอดการทดลองนี้ ได้แก่

- ตัวกลาง กรวด ขนาด 3-5 มม.
- ความสูงของชั้นตัวกลาง 40 ซม.
- ระดับน้ำในระบบ 35 ซม.
- พืช ธูปฤาษี
- ความหนาแน่นของพืช 4 ต้น/ตร.ม.

3.3.2 ตัวแปรต้น

คือ ตัวแปรที่ต้องการศึกษาและสนใจ ได้แก่

- อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบที่ 0.26 0.13 และ 0.086 ลบ.ม./วัน
- ระยะเวลาเก็บกักน้ำในการบำบัดน้ำเสีย คือ 5, 10 และ 15 วัน

3.3.3 ตัวแปรตาม

เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อตัวแปรต้นมีค่าเปลี่ยนแปลง ในการวิจัยนี้ตัวแปรตามที่ต้องวิเคราะห์ คือ พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำที่ออกจากระบบ ได้แก่ ค่าพีเอช อุณหภูมิ สี ของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็นและฟอสฟอรัสทั้งหมด

3.4 ขั้นตอนการวิจัย

3.4.1 ขั้นตอนการเตรียมระบบบำบัดบึงประดิษฐ์

บึงประดิษฐ์ที่ติดตั้งตามหัวข้อ 3.2 ซึ่งมีการปลูกต้นธูปฤาษีบ่อละ 39 ต้น ในตัวกลางกรวด เตรียมระบบโดยป้อนน้ำประปาเข้าสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อให้ต้นธูปฤาษีแข็งแรงและมีการปรับตัว

3.4.2 ขั้นตอนการเดินระบบบำบัดบึงประดิษฐ์

ป้อนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นแล้วจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ด้วยอัตราการไหล 0.26 ลบม./วัน ลงในบ่อที่ 1 และ อัตราการไหล 0.13 ลบ.ม./วัน ลงในบ่อที่ 2 และอัตราการไหล 0.086 ลบ.ม./วัน ลงในบ่อที่ 3 ตลอดระยะเวลา 2 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 3.1 อัตราการไหลและระยะเวลาเก็บกักของบึงประดิษฐ์

บึงประดิษฐ์	อัตราการไหล (ลบ.ม./วัน)	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	อัตราภาระทางชลศาสตร์ (ซม./วัน)
บ่อที่ 1	0.26	5	2.7
บ่อที่ 2	0.13	10	1.34
บ่อที่ 3	0.086	15	0.9

3.4.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำ 4 จุด จุดที่ 1 (จากถังกระจายน้ำ) จุดที่ 2 (ท่อเก็บตัวอย่างน้ำที่ระยะ 2.5 เมตรนับจากต้นบ่อ) จุดที่ 3 (ท่อเก็บตัวอย่างน้ำที่ระยะ 4.5 เมตรนับจาก

ต้นบ่อ) และจุดที่ 4 (ถังน้ำออกจากระบบ) โดยน้ำเข้าระบบจะเก็บสัปดาห์ละ 2 ครั้ง น้ำออกจากระบบจะเก็บหลังจากที่น้ำถูกเก็บกักไว้ในระบบเป็นเวลา 5 10 และ 15 วัน ในบ่อทดลองที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ สำหรับท่อเก็บตัวอย่างน้ำภายในระบบบึงประดิษฐ์ จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 2 สัปดาห์/ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 3.2 แล้ววิเคราะห์พารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ สี ของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด ดังแสดงในตาราง 3.3

ตารางที่ 3.2 จุดเก็บตัวอย่าง ตัวแปร และความถี่ในการวิเคราะห์

ตัวแปร	จุดเก็บที่ 1	จุดเก็บที่ 2	จุดเก็บที่ 3	จุดเก็บที่ 4
1.อุณหภูมิ	*	#	#	*
2.พีเอช	*	#	#	*
3.สี	*	#	#	*
4.ของแข็งแขวนลอย	*	#	#	*
5.บีโอดี	*	#	#	*
6.ซีโอดี	*	#	#	*
7.ทีเคเอ็น	*	#	#	*
8.ฟอสฟอรัส	*	#	#	*

หมายเหตุ * คือ เก็บตัวอย่าง 2 ครั้งต่อสัปดาห์
คือ เก็บตัวอย่าง 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1.อุณหภูมิ	Thermometer
2.พีเอช	pH meter
3.สี (SU)	Spectophotometer
4.บีโอดี	20 °C 5 day
5.ซีโอดี	Closed reflux method
6.ของแข็งแขวนลอย	Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C
7.ทีเคเอ็น	Macro Kjeldahl method
8.ฟอสฟอรัสทั้งหมด	Vanadomolybdophosphoric acid method

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ของบริษัททักษิณปาล์ม (2521) จำกัด ตั้งอยู่ใน อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในการทดลองจะเก็บน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นและขั้นที่สองมาแล้ว โดยจะเก็บจากบ่อสุดท้ายของระบบบำบัด ซึ่งน้ำเสียจะมีค่าพีเอชเป็นด่าง (พีเอช เท่ากับ 9.3) และมีค่าของแข็งแขวนลอย บีโอดี และซีโอดีค่อนข้างสูง เฉลี่ยเท่ากับ 339, 140, 3164 mg/l ตามลำดับ นอกจากนี้น้ำเสียยังมีสีสูงถึง 199.9 SU ซึ่งค่าเฉลี่ยลักษณะน้ำเสียที่ป้อนเข้าบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1 บ่อที่ 2 และ บ่อที่ 3 แสดงในตารางที่ 4.1 ส่วนรายละเอียดได้แสดงในภาคผนวกตารางที่ ก-1

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ป้อนเข้าบึงประดิษฐ์

พารามิเตอร์	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	SD
pH	9.12 - 9.63	9.3	±0.18
T (°C)	24.7 - 29.9	27.54	±1.65
Color (SU)	158.6 - 267.7	199.9	±40.0
SS (mg/l)	130 – 567	339	±166.9
BOD (mg/l)	96 – 234	140	±50.19
COD (mg/l)	2319 – 3731	3164	±474.08
TKN (mg/l)	61.60 - 95.20	79.66	±13.11
TP (mg/l)	10.50 - 14.30	13.24	±1.4

หมายเหตุ จำนวนตัวอย่างเท่ากับ 7 ตัวอย่าง

4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำของบึงประดิษฐ์

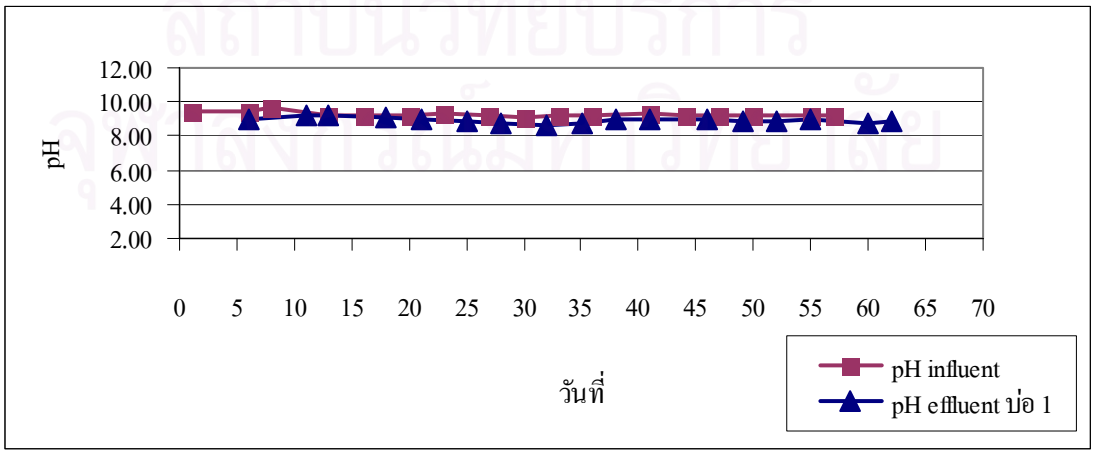
การทดลองนี้จะศึกษาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหลต่างกัน โดยทำการป้อนน้ำเสียจากถังกระจายน้ำเข้าสู่บ่อทดลองแต่ละบ่อ โดยที่บึงประดิษฐ์บ่อที่ 1 มีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 0.26 ลบ.ม./วัน บึงประดิษฐ์บ่อที่ 2 มีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 0.13 ลบ.ม./วัน บึงประดิษฐ์บ่อที่ 3 มีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 0.086 ลบ.ม./วัน ซึ่งรายละเอียดผลการทดลองจะอธิบายลักษณะน้ำของบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อดังนี้

4.2.1 บึงประดิษฐ์บ่อที่ 1

บ่อทดลองนี้ จะทำการป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 0.26 ลบ.ม./วัน คิดเป็นระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน โดยระบบมีภาระทางชลศาสตร์เท่ากับ 2.7 เซนติเมตร/วัน ซึ่งผลการทดลองจะวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ รายละเอียดแสดงในภาคผนวกตารางที่ ก-2

1) พีเอช

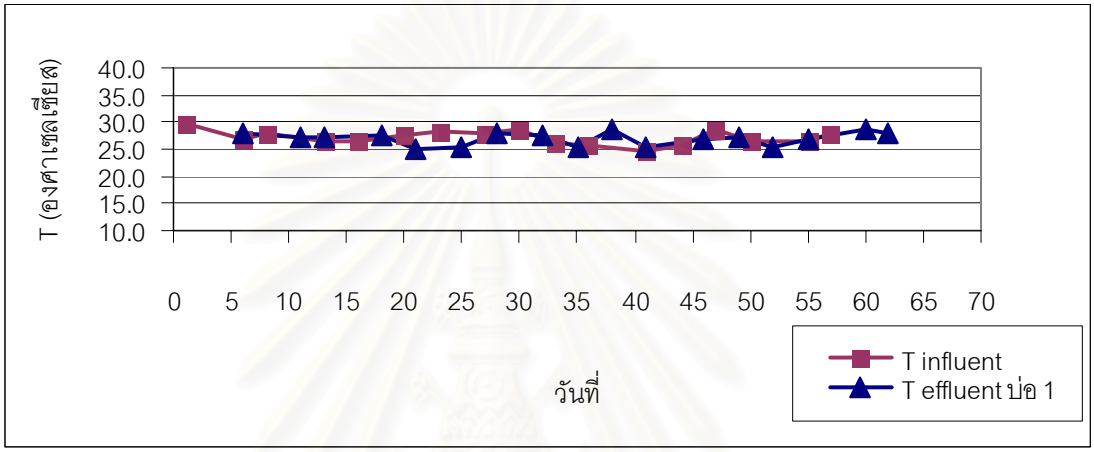
น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีค่าพีเอช อยู่ในช่วง 9.12 - 9.63 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.27 จะเห็นได้ว่าน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ป้อนเข้าระบบมีค่าพีเอชค่อนข้างเป็นด่าง ซึ่งค่าพีเอชที่ต้นธูปฤาษีทำงานได้ดีอยู่ในช่วง 4 – 10 ส่วนน้ำที่ออกจากระบบมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 8.60 – 9.19 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.92 ซึ่งน้ำที่ออกจากระบบมีค่าพีเอชต่ำกว่าน้ำที่ป้อนเข้าระบบเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1

2) อุณหภูมิ

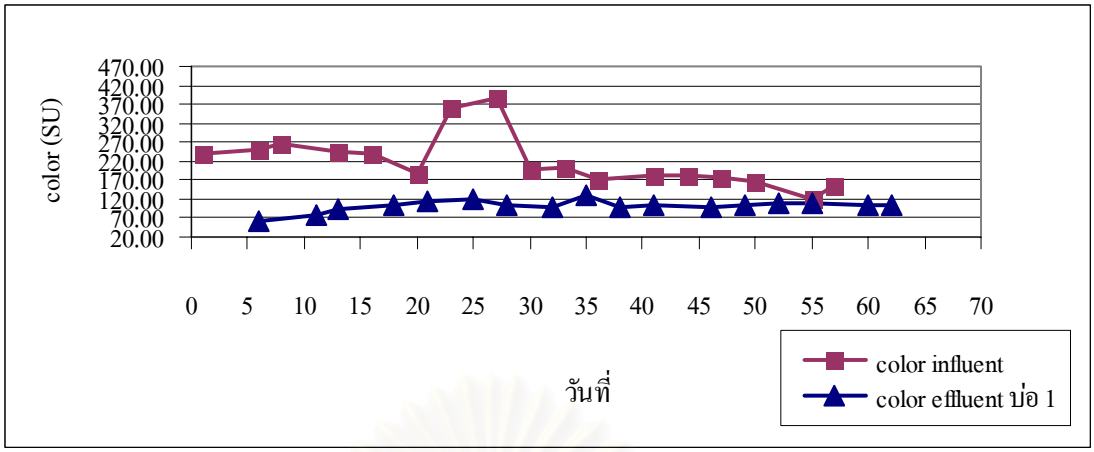
น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24.7 – 29.9 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.14 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิในน้ำออกจากระบบมีค่าอยู่ในช่วง 25.1 - 28.8 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.96 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าน้ำที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำที่ออกจากระบบเล็กน้อย



รูปที่ 4.2 อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1

3) สี (color)

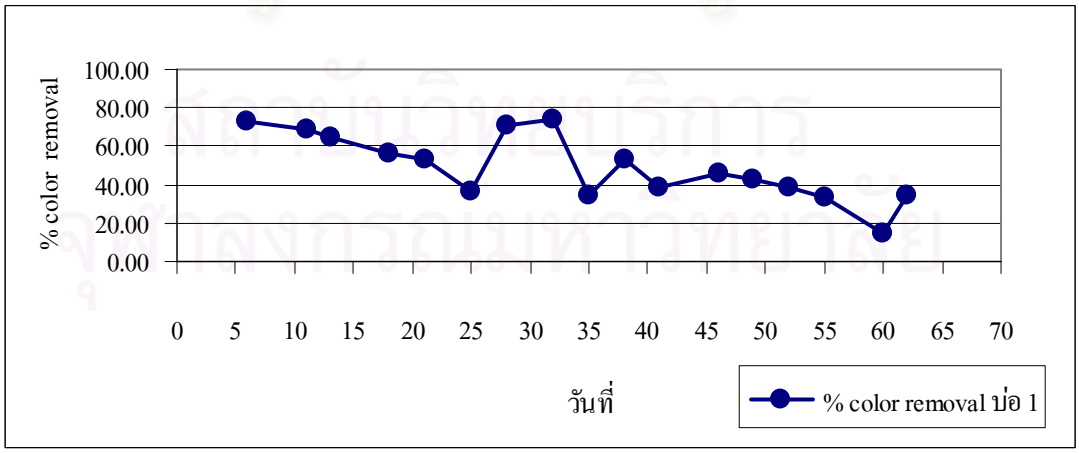
น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีค่าสีอยู่ในช่วง 119.04 – 384.17 SU โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 219.76 SU ซึ่งน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบตลอดระยะเวลาการทดลองจะมีความแปรปรวนค่อนข้างมาก โดยในช่วงหนึ่งเดือนแรกของการทดลอง น้ำเสียจะมีค่าสีอยู่สูงโดยอยู่ในช่วง 185.21 - 384.17 SU ส่วนในช่วงหนึ่งเดือนหลังของการทดลอง น้ำเสียจะมีค่าสีอยู่น้อยกว่าคืออยู่ในช่วง 119.04 – 203.67 SU สำหรับน้ำที่ออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีค่าสีน้อยกว่าน้ำที่ป้อนเข้าระบบ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 64.4 – 129.14 SU มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 102.17 SU ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าสีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1

เมื่อพิจารณาในส่วนของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1 พบว่าในช่วงต้นที่ทำการทดลองน้ำทิ้งจะมีค่าสีที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลตั้งแต่วันที่ 20 ของการทดลอง ค่าสีของน้ำที่ออกจากระบบจะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

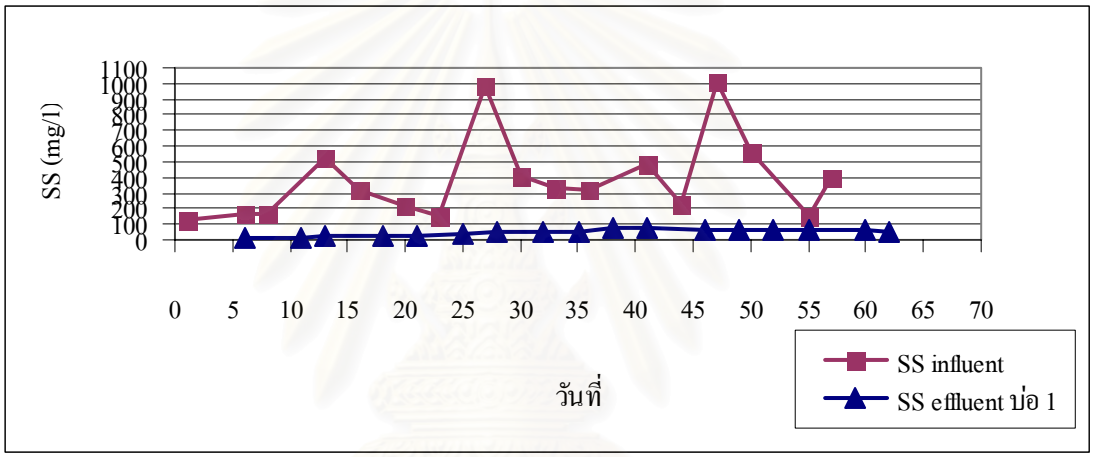
ประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1 อยู่ในช่วงร้อยละ 14.53 - 74.20 มีค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 49.06 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดสีในระยะเวลาต่าง ๆ ของการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพของการกำจัดสีมีความแตกต่างกัน มีแนวโน้มลดลงในช่วงหนึ่งเดือนหลังของการทดลอง เนื่องจากน้ำเสียเข้าระบบมีค่าสีลดลง ขณะที่น้ำที่ออกจากระบบมีค่าสีคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1

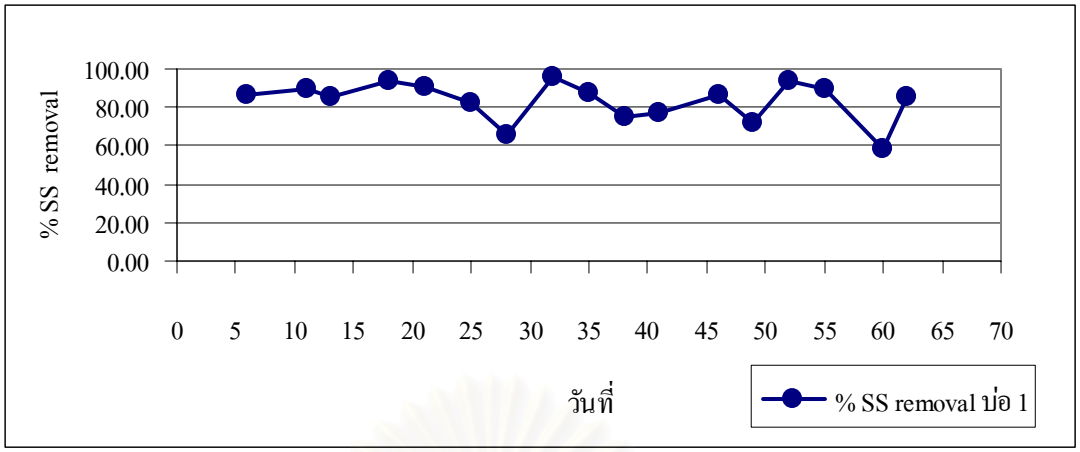
4) ของแข็งแขวนลอย (SS)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ มีค่าอยู่ในช่วง 130 – 1015 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 387.08 mg/l จะเห็นได้ว่าน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ค่าแตกต่างกันมาก ส่วนปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากระบบมีค่าอยู่ในช่วง 17 – 83 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 48.94 mg/l ซึ่งน้ำที่ออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีปริมาณของแข็งแขวนลอยน้อยกว่าน้ำที่ป้อนเข้าระบบอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ออกมากับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาทำการทดลองผ่านไป



รูปที่ 4.5 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1

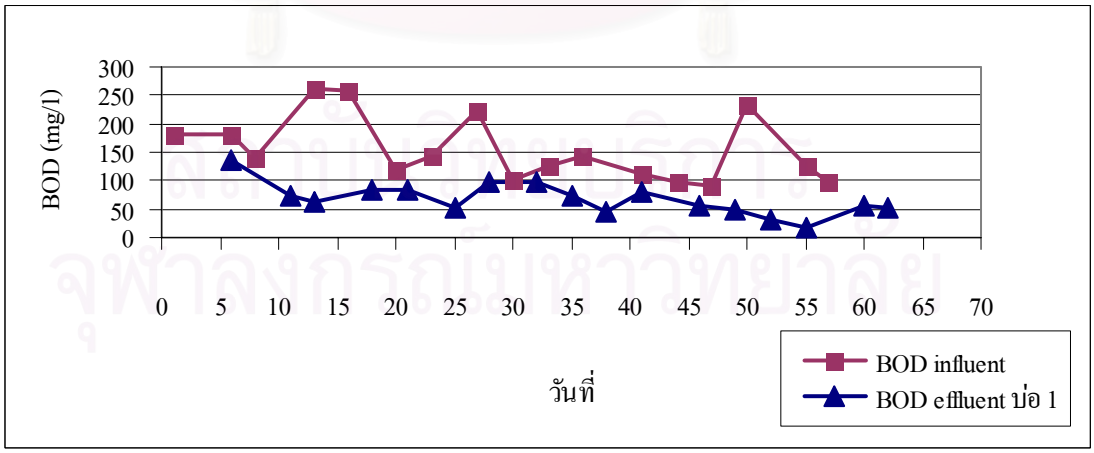
ประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอยของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1 อยู่ในช่วงร้อยละ 58.67 – 95.45 มีค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 83.30 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยค่อนข้างดี ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ระยะเวลาต่าง ๆ ตลอดการทดลอง พบว่า ระบบสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ดีในช่วงต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอยของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1

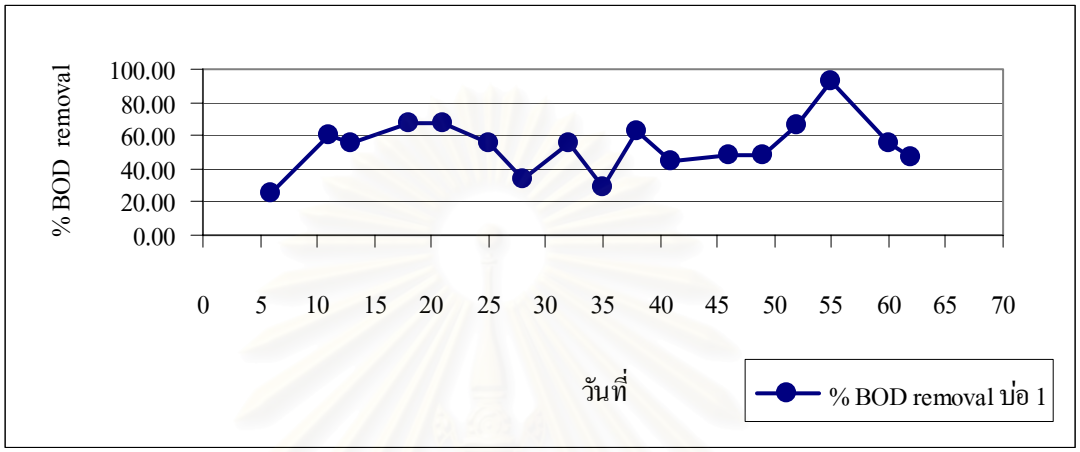
5) บีโอดี

ค่าบีโอดีของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์อยู่ในช่วง 90 – 262.5 mg/l โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 154.49 mg/l ส่วนน้ำที่ออกจากระบบมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 18 – 135 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 67.36 mg/l ดังแสดงในรูปที่ 4.7 โดยค่าบีโอดีในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ จะค่อนข้างแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาน้ำที่ออกจากระบบบำบัดพบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป ปริมาณบีโอดีมีแนวโน้มลดลง และค่าบีโอดีในน้ำที่ออกจากระบบมีความแปรปรวนมาก นั่นคือตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองค่าบีโอดีจะมีค่าสูงต่ำแตกต่างกัน



รูปที่ 4.7 ปริมาณบีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1

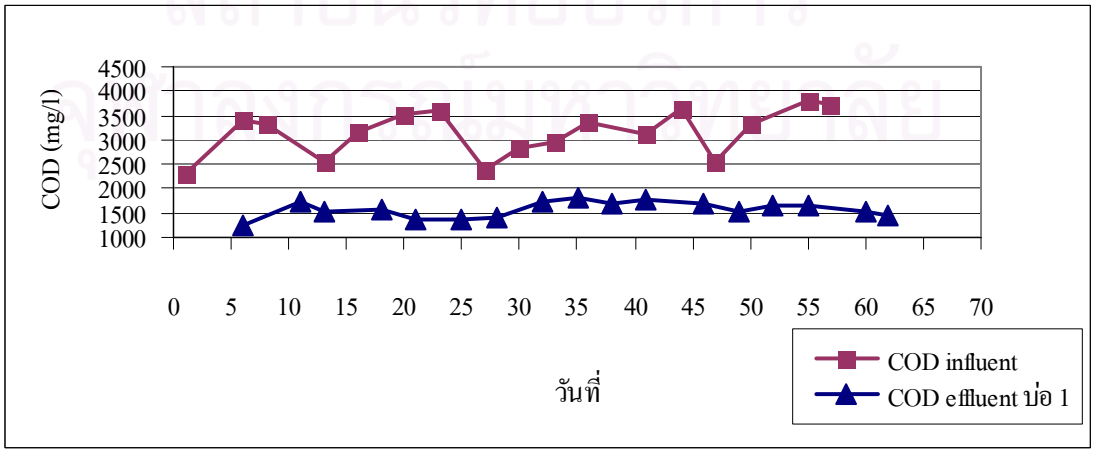
ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1 อยู่ในช่วงร้อยละ 44.44 – 92.31 คิดเป็นประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 53.84 ซึ่งปริมาณบีโอดีเฉลี่ยของน้ำที่ออกจากระบบมีค่า 67.36 mg/l และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดที่ระยะเวลาที่ทำการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1

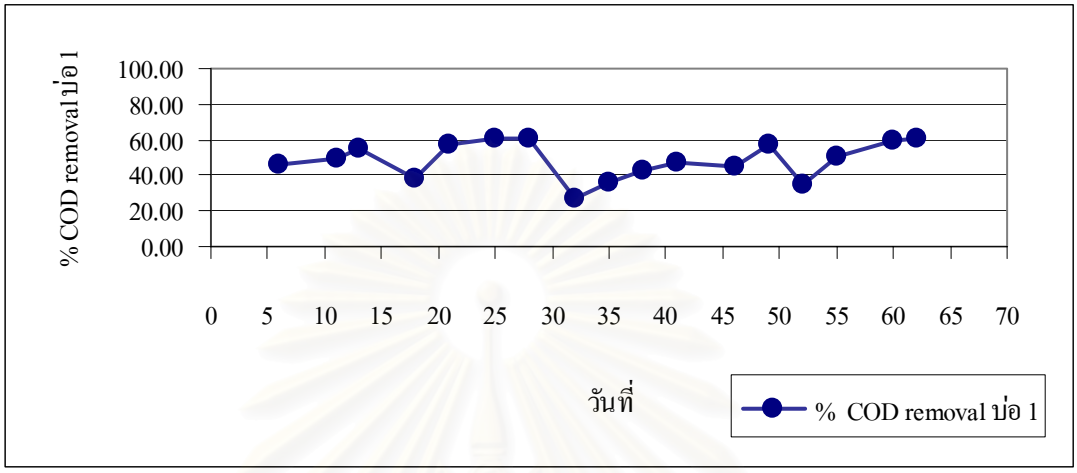
6) ซีโอดี

ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 2319.20 – 3801.60 mg/l โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3153.95 mg/l ซึ่งค่าซีโอดีในน้ำออกจากระบบมีค่าน้อยกว่าน้ำเข้าระบบ โดยน้ำที่ออกจากระบบมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 1241.60 – 1795.20 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1572.28 mg/l ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ปริมาณซีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1

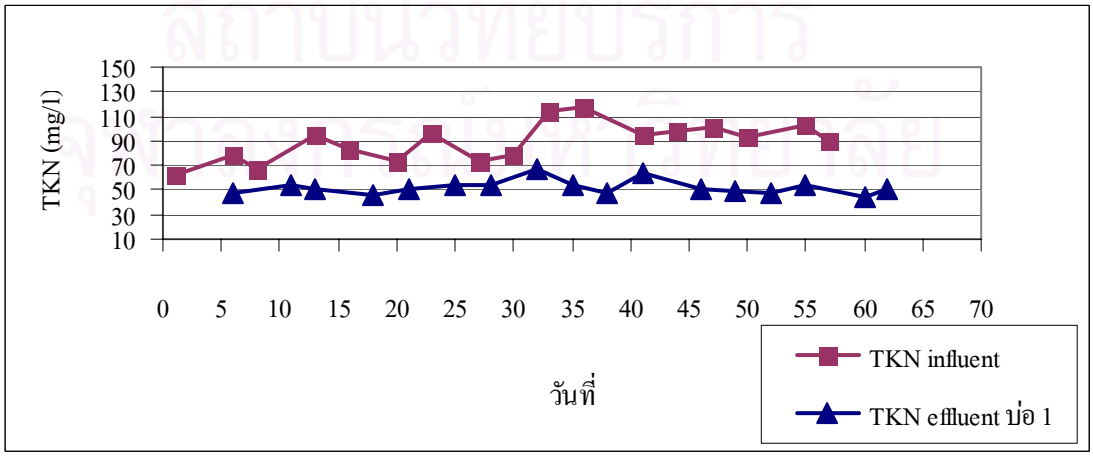
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่1 อยู่ในช่วงร้อยละ 27.47 – 61.22 คิดเป็นประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 48.86 ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลาต่าง ๆ ตลอดการทดลองพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1

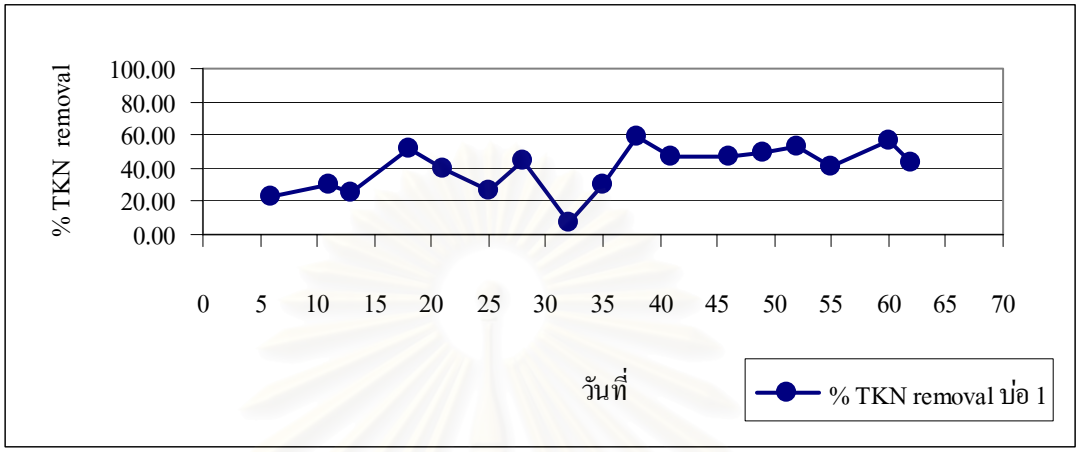
7) ทีเคเอ็น

ปริมาณทีเคเอ็นในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ มีค่าอยู่ในช่วง 61.6 – 117.6 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 89.08 mg/l ส่วนปริมาณทีเคเอ็นในน้ำออกจากระบบมีค่าน้อยกว่าน้ำที่ป้อนเข้าระบบดังรูปที่ 4.11 ซึ่งปริมาณทีเคเอ็นในน้ำที่ออกจากระบบอยู่ในช่วง46.2 – 67.2 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 52.09 mg/l และมีค่าใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง



รูปที่ 4.11 ปริมาณทีเคเอ็นของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1

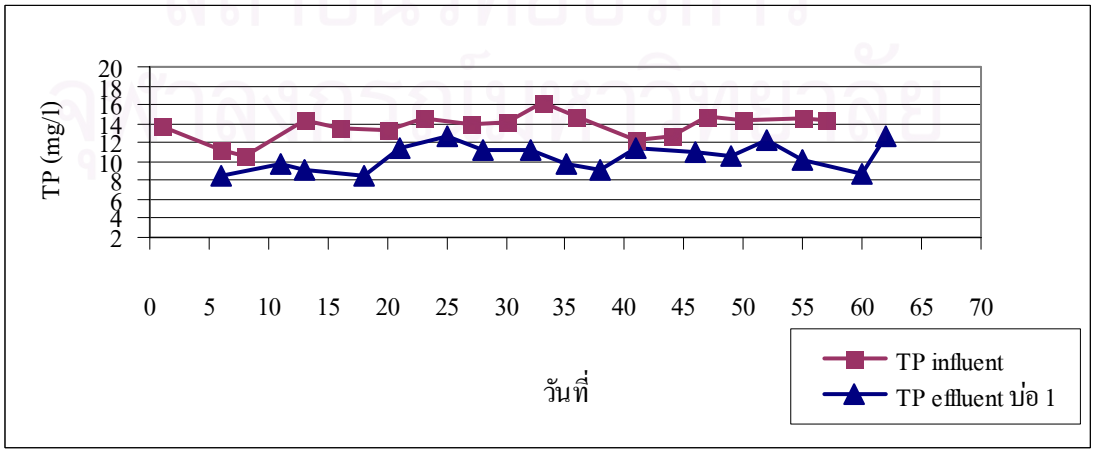
ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1 อยู่ในช่วงร้อยละ7.69 – 58.54 คิดเป็นประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 39.71 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่อนข้างต่ำ และตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ประสิทธิภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1

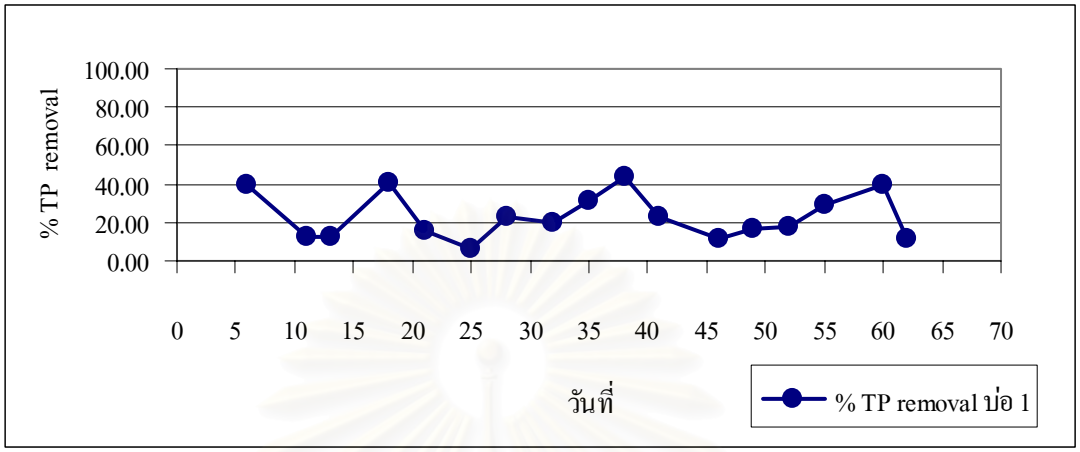
8) ฟอสฟอรัส

น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีค่าฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 10.5 – 16.3 mg/l โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.74 mg/l ซึ่งจะเห็นได้ว่าฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีปริมาณน้อย ส่วนน้ำที่ออกจากระบบมีค่าฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 8.4 – 12.6 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.47 mg/l โดยปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าค่อนข้างแปรปรวน ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1

ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของบึงประดิษฐ์อยู่ในช่วงร้อยละ 5.97 – 43.56 คิดเป็นประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 23.10 ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.14



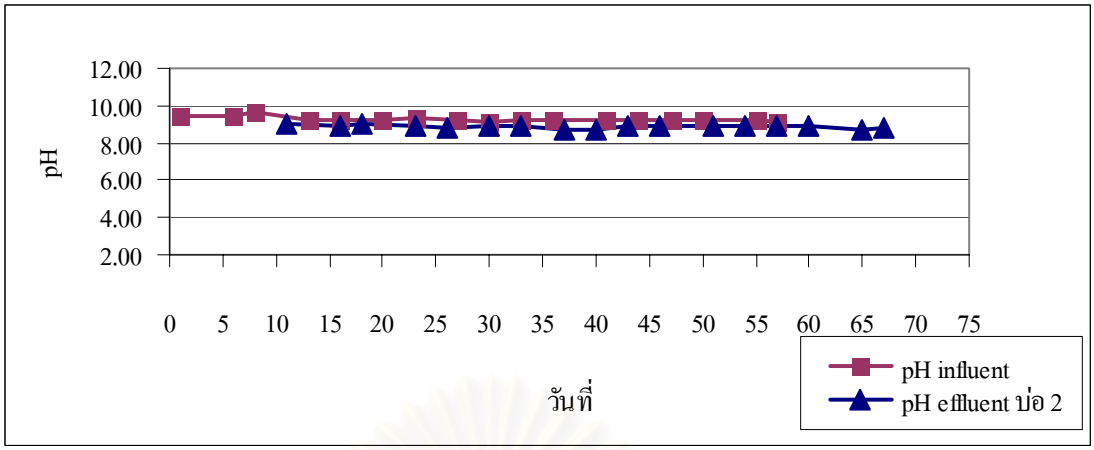
รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1

4.2.2 บึงประดิษฐ์บ่อที่ 2

บ่อทดลองนี้ จะทำการป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 0.13 ลบ.ม./วัน คิดเป็นระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน โดยระบบมีภาระทางชลศาสตร์เท่ากับ 1.34 เซนติเมตร/วัน ซึ่งผลการทดลองสามารถวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ดังนี้ รายละเอียดแสดงในภาคผนวกตารางที่ ก-3

1) พีเอช

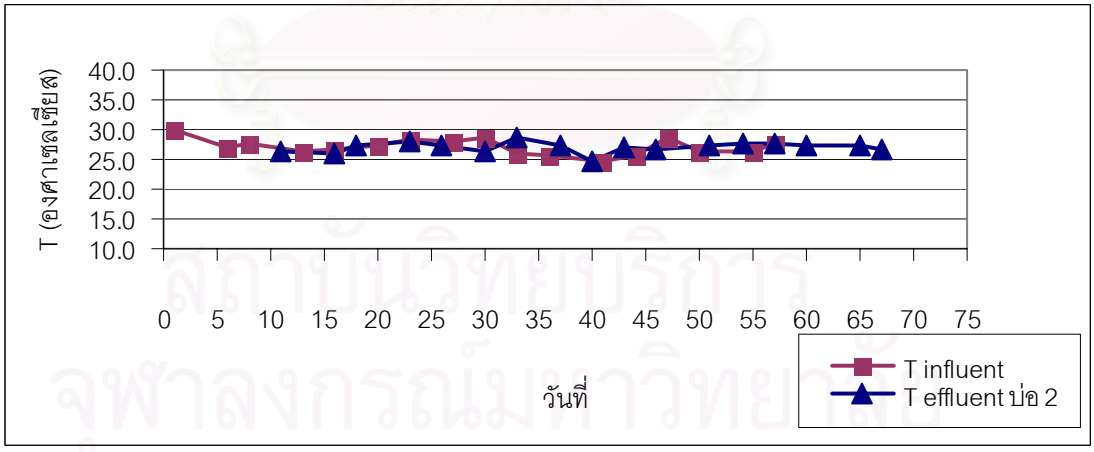
น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีค่าพีเอช อยู่ในช่วง 9.12 - 9.63 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.27 ส่วนน้ำที่ออกจากระบบมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 8.86 – 9.03 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.94 จะเห็นได้น้ำที่ออกจากระบบมีค่าพีเอชต่ำกว่าน้ำที่ป้อนเข้าระบบเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ค่าพีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 2

2) อุณหภูมิ

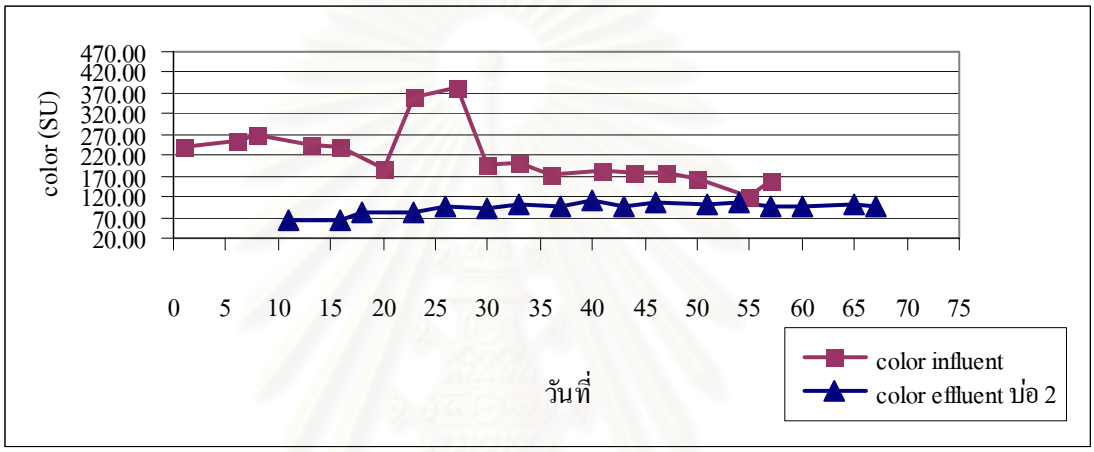
น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24.7 – 29.9 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.14 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิในน้ำออกจากระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 24.6 -28.7 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.08 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิในน้ำเข้าระบบมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิในน้ำออกจากระบบเล็กน้อยจนเกือบใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 2

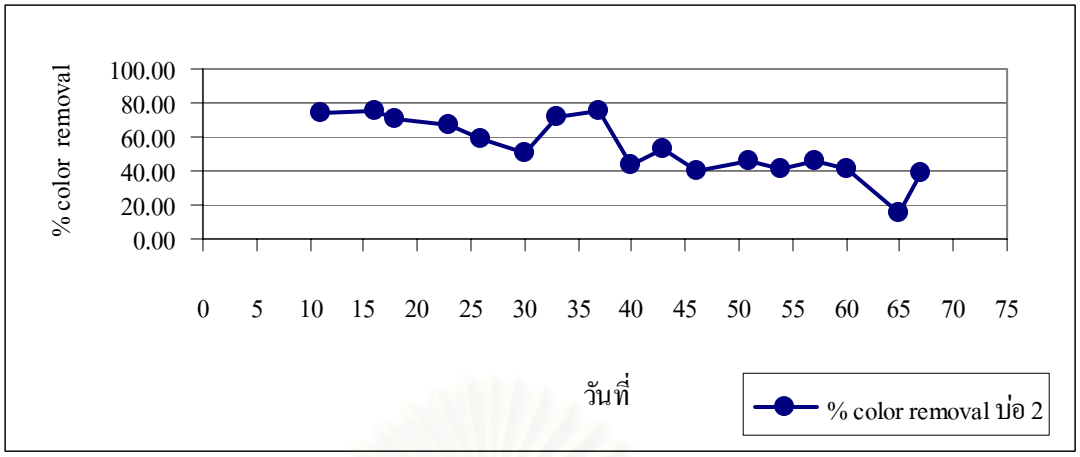
3) สี (color)

ค่าสีของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์อยู่ในช่วง 119.04 – 384.17 SU โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 219.76 SU ส่วนน้ำที่ออกจากระบบมีค่าสีน้อยกว่าน้ำที่ป้อนเข้าระบบ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 61.50 – 128.96 SU มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 94.09 SU ดังแสดงในรูปที่ 4.17 เมื่อพิจารณาค่าสีที่ออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ พบว่ามีความแปรปรวนน้อย นั่นคือค่าสีจะใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง



รูปที่ 4.17 ค่าสีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 2

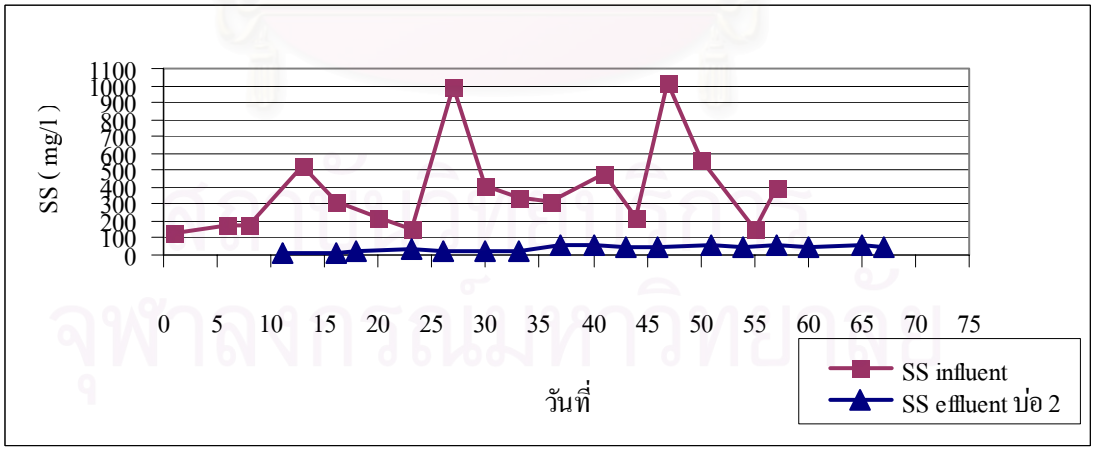
เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดสีของบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2 ซึ่งเป็นบ่อที่อัตราการไหลของน้ำที่ป้อนเข้าระบบ 0.13 ลบ.ม./วัน และมีระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 15.63 – 75.08 และมีค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 52.86 ส่วนประสิทธิภาพของการกำจัดสีที่ระยะเวลาต่าง ๆ ของการทดลอง พบว่าบึงประดิษฐ์มีแนวโน้มในการกำจัดสีได้ดี แต่การที่ช่วงท้ายการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดสีลดลง เนื่องมาจากความเข้มสีในน้ำเข้าระบบมีค่าต่ำลง ขณะที่ความเข้มสีของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 2

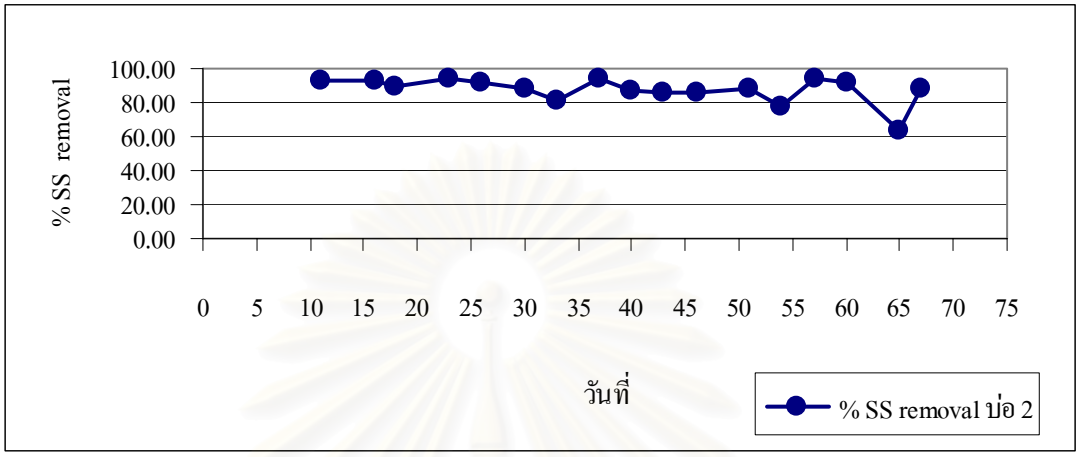
4) ของแข็งแขวนลอย (SS)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ มีค่าอยู่ในช่วง 130 -1015 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 387.08 mg/l ส่วนปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากระบบมีค่าอยู่ในช่วง 9.33 – 58 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.49 mg/l จะเห็นได้ว่าทั้งในน้ำเข้าและน้ำที่ออกจากระบบมีปริมาณของแข็งแขวนลอยแตกต่างกันมาก และปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าน้อยกว่าน้ำเข้าอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 2

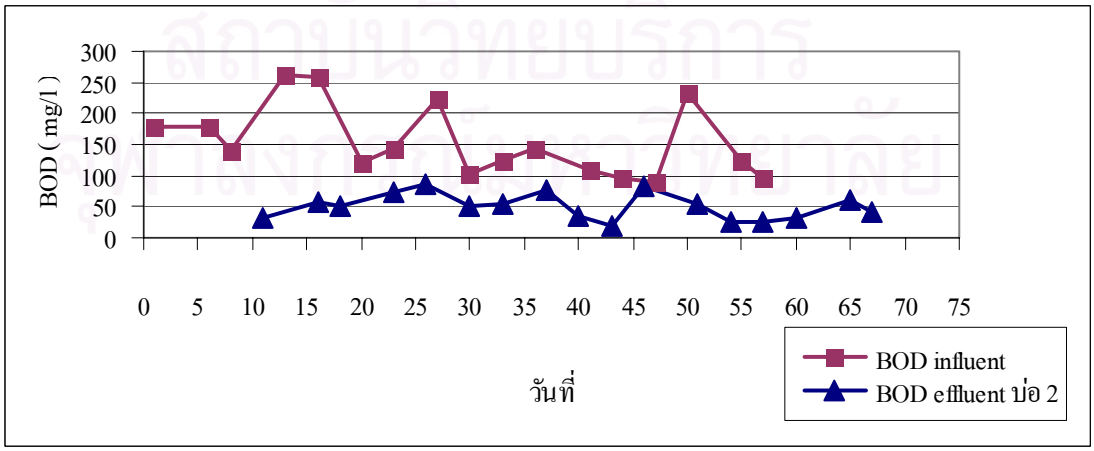
ประสิทธิภาพของการกำจัดของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วงร้อยละ 61.33 – 94.33 คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 87.43 และประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง จะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 2

5) บีโอดี

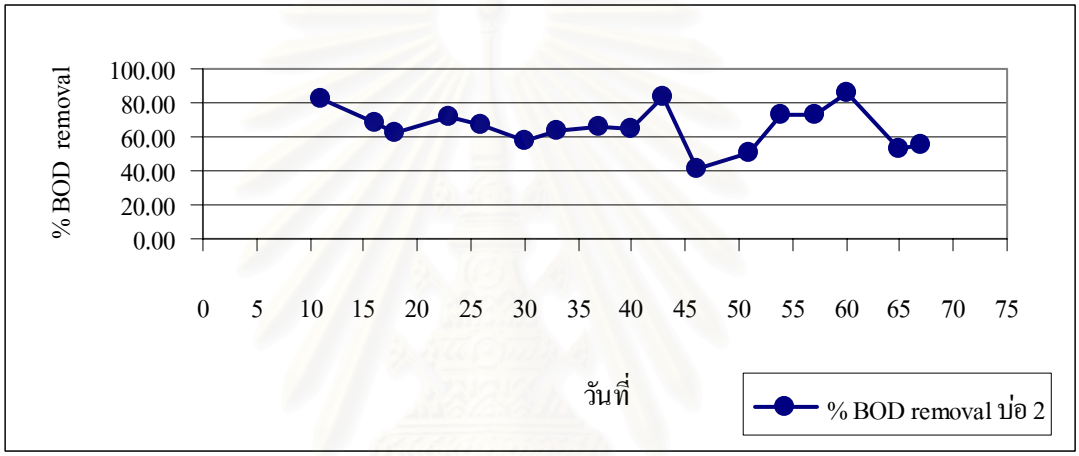
น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 90 – 262.5 mg/l โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 154.49 mg/l ส่วนค่าบีโอดีในน้ำที่ออกจากระบบมีค่าน้อยกว่าน้ำเข้าระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.20 นั่นคือ น้ำที่ออกจากระบบมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 20 – 86 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 50.68 mg/l



รูปที่ 4.21 ปริมาณบีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 2

เมื่อพิจารณาปริมาณบีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง พบว่า จะมีค่าแตกต่างกันมาก และค่าเฉลี่ยปริมาณบีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบมีค่า 50.68 mg/l ซึ่งเกินมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนด

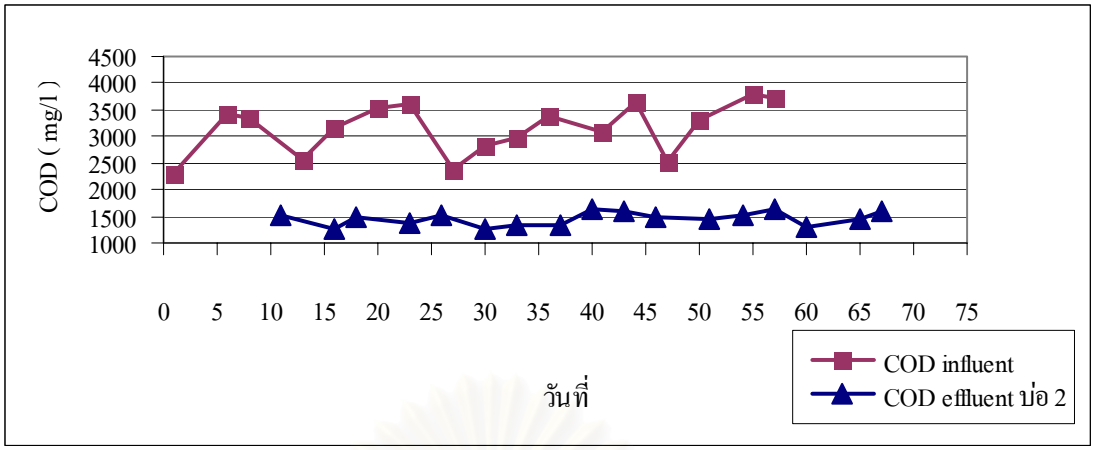
ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 41.67 – 85.90 และมีค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 65.85 สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดที่ระยะเวลาต่าง ๆ ที่ทำการทดลอง พบว่าในช่วงแรกของการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดจะมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนระยะหลังประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีค่อนข้างมีความแตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 2

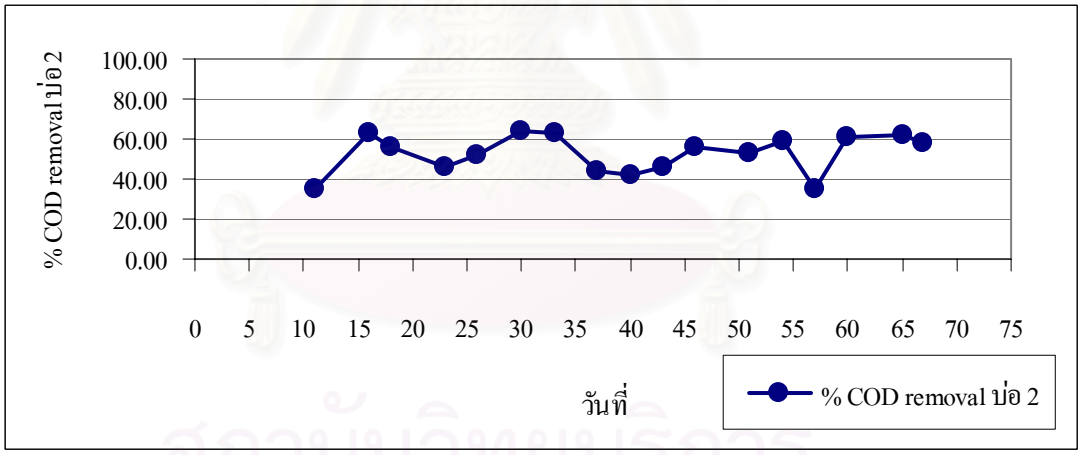
6) ซีโอดี

น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 2319.20 – 3801.60 mg/l โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3153.95 mg/l จากรูปที่ 4.23 จะเห็นได้ว่าซีโอดีในน้ำออกจากระบบมีค่าน้อยกว่าน้ำเข้าระบบ ซึ่งน้ำที่ออกจากระบบมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 1267.20 – 1643.2 mg/l และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1453.68 mg/l เมื่อพิจารณาปริมาณซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง จะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.23 ปริมาณซีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2

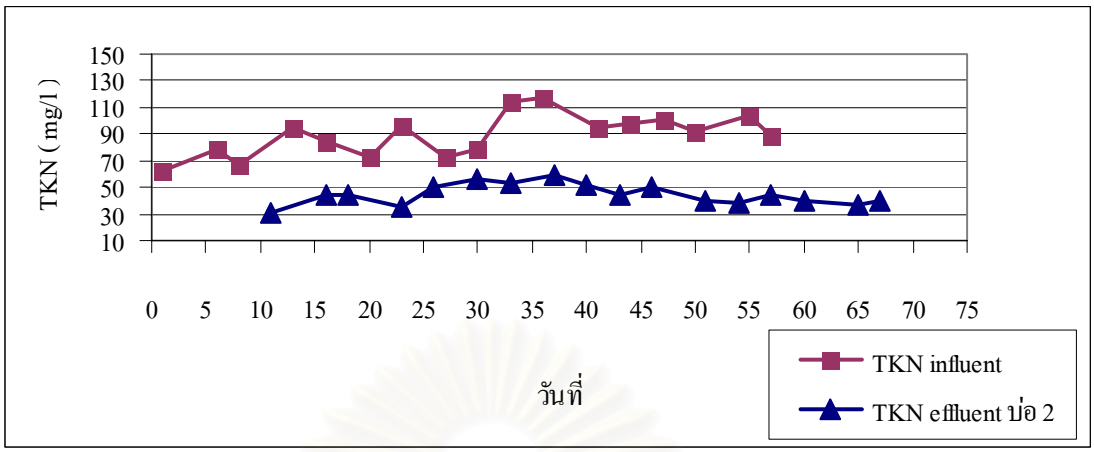
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2 อยู่ในช่วงร้อยละ 35.15 – 64.08 คิดเป็นประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 52.68 ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลาต่าง ๆ ตลอดการทดลองมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 2

7) ทีเคเอ็น

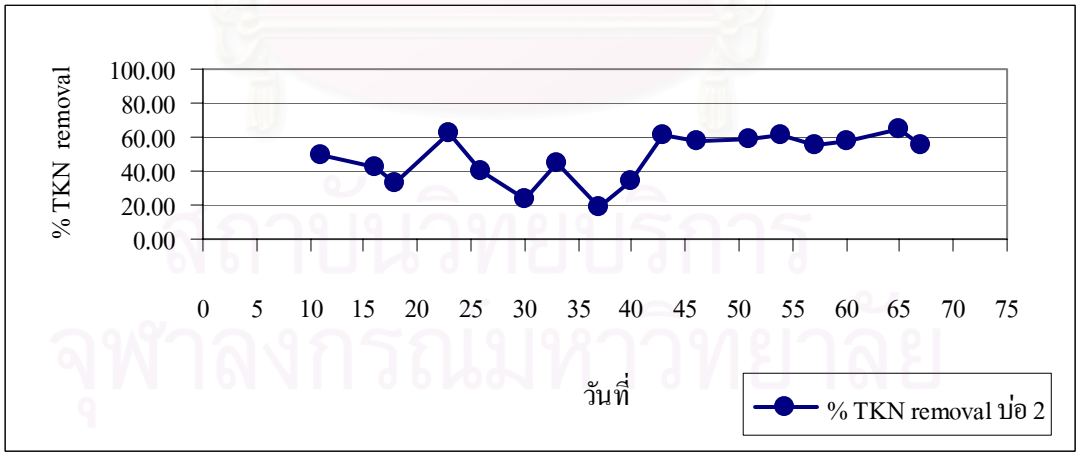
ปริมาณทีเคเอ็นในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีค่าน้อย โดยมีค่าอยู่ในช่วง 61.6 – 117.6 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 89.36 mg/l ส่วนปริมาณทีเคเอ็นในน้ำออกจากระบบมีค่าอยู่ในช่วง 30.8 -58.8 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 44.66 mg/l ซึ่งปริมาณทีเคเอ็นในน้ำออกมีค่าน้อยกว่าน้ำที่ป้อนเข้าระบบ ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 ปริมาณทีเคเอ็นของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2

ปริมาณทีเคเอ็นในน้ำที่ออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2 มีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการทดลอง และหลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงอีกเล็กน้อยในช่วงหลัง

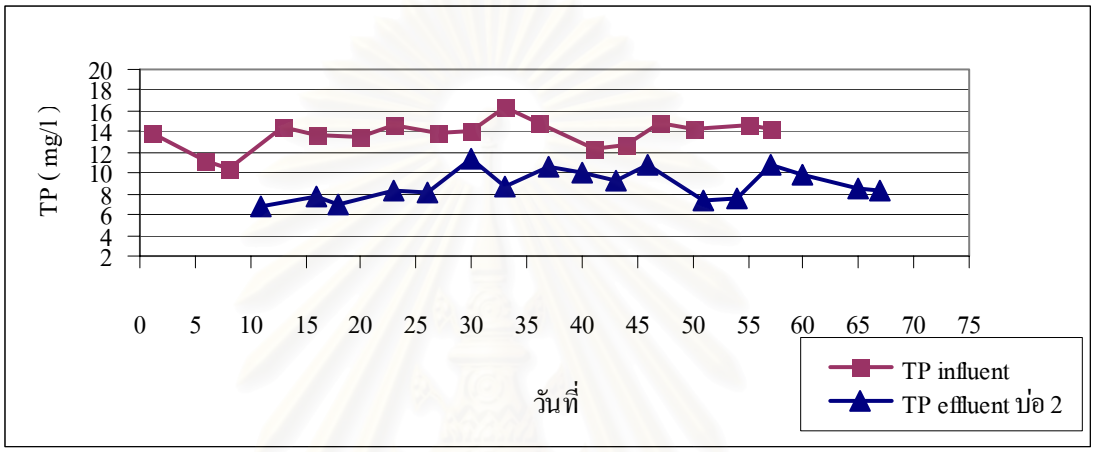
ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของบึงประดิษฐ์ อยู่ในช่วงร้อยละ 19.23 - 60.98 คิดเป็นประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 48.32 ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ประสิทธิภาพการบำบัดในช่วงแรกมีค่าแตกต่างกันมาก แต่ในช่วงหลังประสิทธิภาพค่อนข้างคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 2

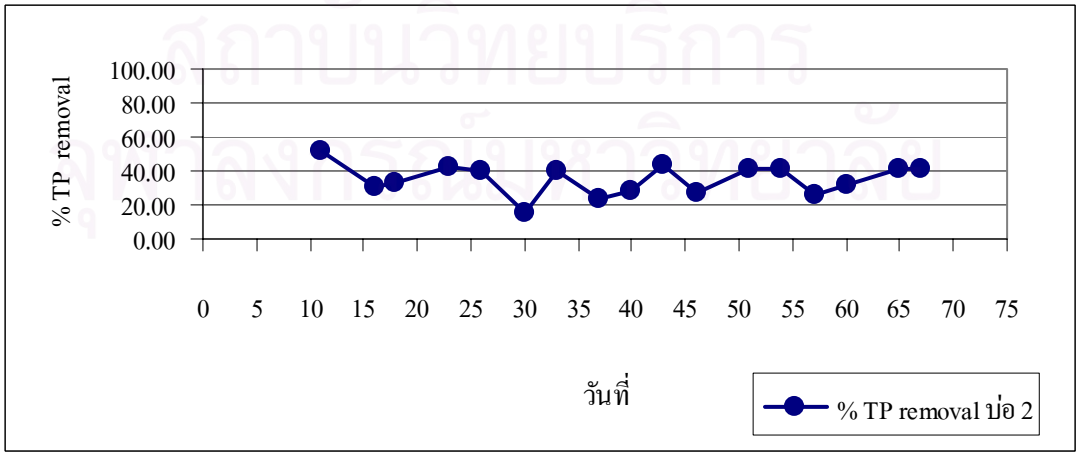
8) ฟอสฟอรัส

น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีค่าฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 10.5 – 16.3 mg/l โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.74 mg/l ส่วนน้ำที่ออกจากระบบบำบัดมีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยกว่าน้ำที่ป้อนเข้าระบบ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.7 – 11.4 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.90 mg/l ดังแสดงในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2

ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของบึงประดิษฐ์อยู่ในช่วงร้อยละ 14.93 – 51.45 คิดเป็นประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 23.10 ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลาต่าง ๆ มีความแตกต่างกันไม่มาก ดังแสดงในรูปที่ 4.28



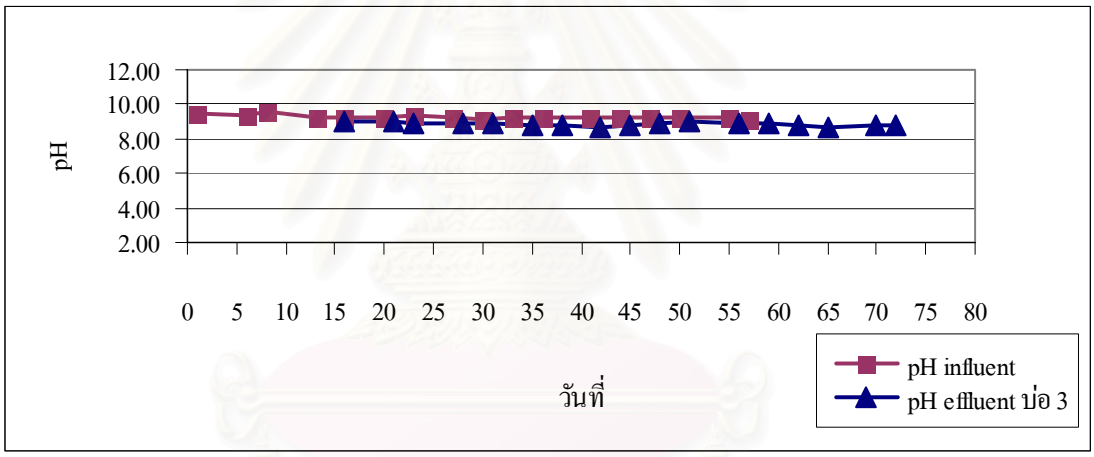
รูปที่ 4.28 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 2

4.2.3 บึงประดิษฐ์บ่อที่ 3

บ่อทดลองนี้ จะทำการป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 0.086 ลบ.ม./วัน คิดเป็นระยะเวลาเก็บกักน้ำ 15 วัน โดยระบบมีภาระทางชลศาสตร์เท่ากับ 0.9 เซนติเมตร/วัน ซึ่งผลการทดลองสามารถวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ดังนี้ รายละเอียดแสดงในภาคผนวกตารางที่ ก-4

1) พีเอช

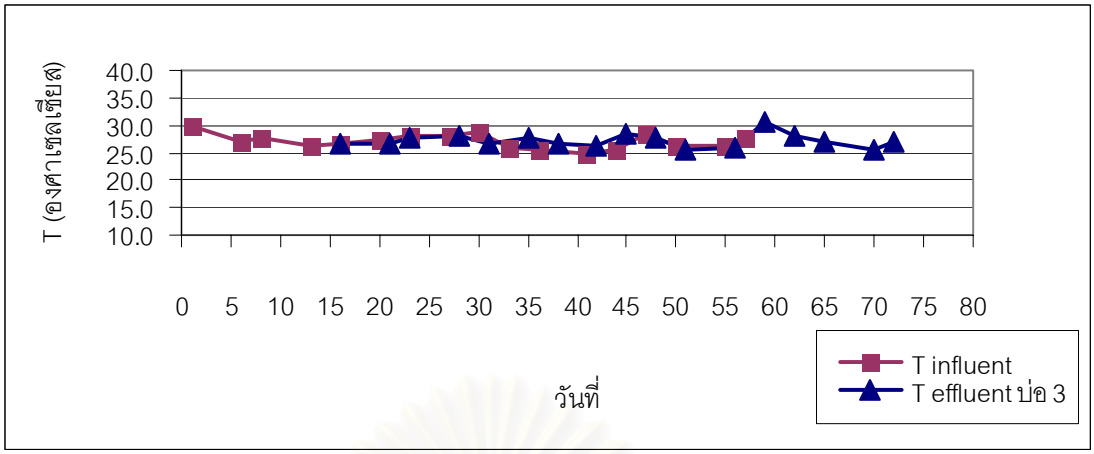
น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีค่าพีเอช อยู่ในช่วง 9.12 - 9.63 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.27 ส่วนน้ำที่ออกจากระบบมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 8.63 – 9.02 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.84 จะเห็นได้น้ำที่ออกจากระบบมีค่าพีเอชต่ำกว่าน้ำที่ป้อนเข้าระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 ค่าพีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 3

2) อุณหภูมิ

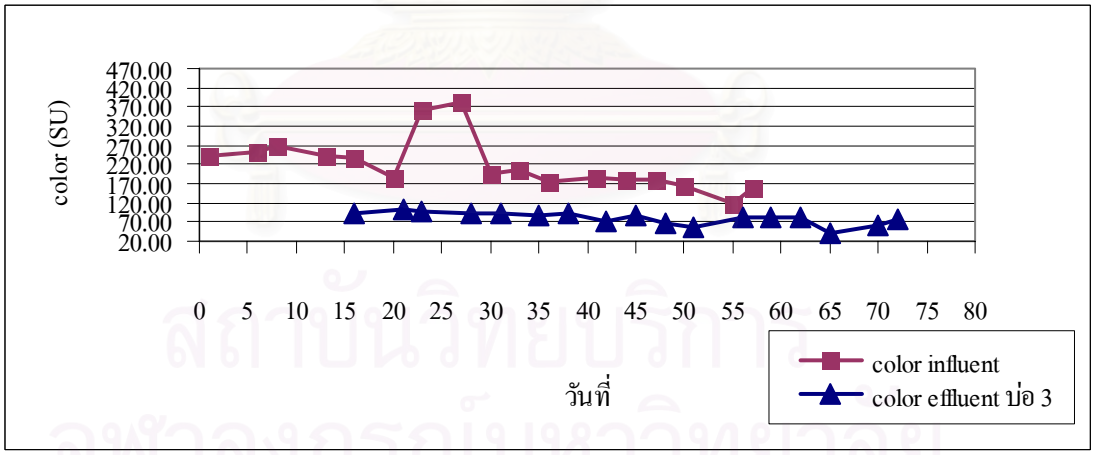
น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24.7 – 29.9 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.14 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิในน้ำออกจากระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 25.5 - 30.5 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.17 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิในน้ำเข้าระบบมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิในน้ำออกจากระบบเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 3

3) สี

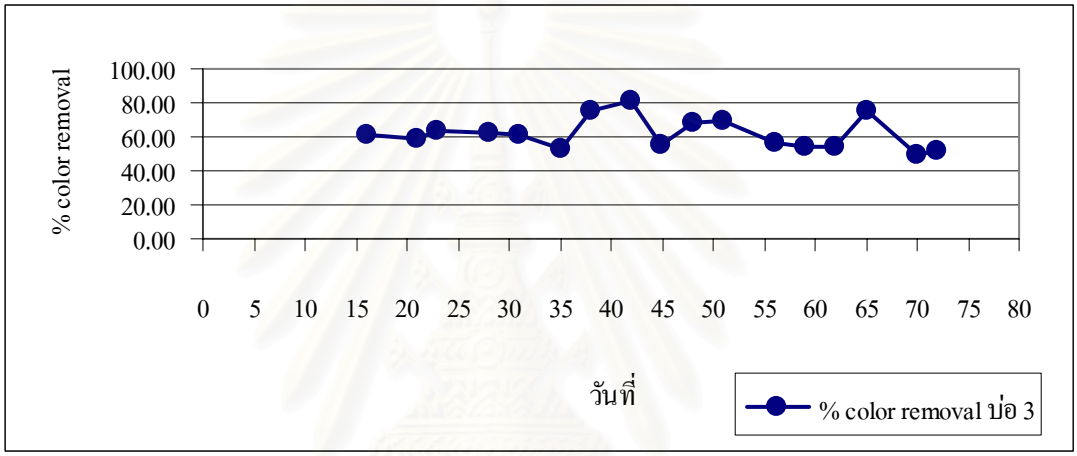
ค่าสีของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์อยู่ในช่วง 119.04 – 384.17 SU โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 219.76 SU ส่วนน้ำที่ออกจากระบบมีค่าสีลดลง โดยมีค่าสีอยู่ในช่วง 41.41 – 103.40 SU มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.17 SU ดังแสดงในรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ค่าสีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 3

เมื่อพิจารณาค่าสีของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 3 พบว่า ระยะเวลาที่ทำการทดลองในช่วงต้นค่าสีของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าคงที่ ส่วนการทดลองในช่วงหลัง ค่าสีในน้ำจะมีค่าลดลง และค่าที่ตรวจวัดได้แต่ละครั้งจะแตกต่างกัน

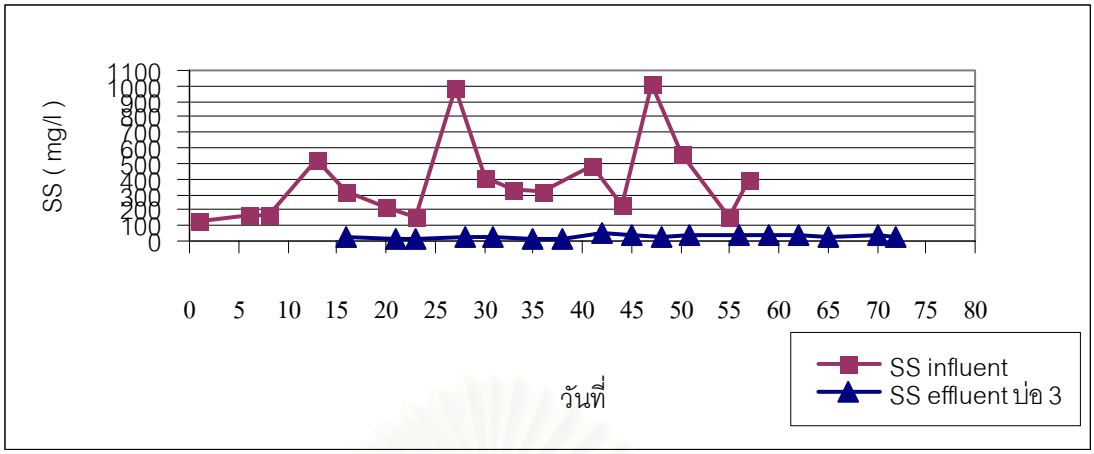
เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดสีของบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3 พบว่ามีประสิทธิภาพอยู่ในช่วงร้อยละ 49.50 – 80.82 และมีค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 61.65 ส่วนประสิทธิภาพของการกำจัดสีที่ระยะเวลาต่าง ๆ ของการทดลอง พบว่าบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพการกำจัดสีไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 3

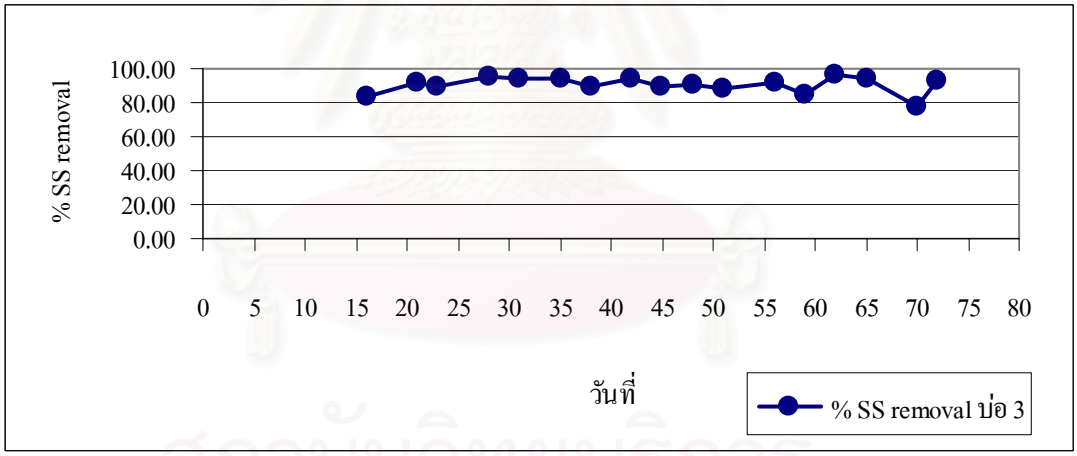
4) ของแข็งแขวนลอย (SS)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ มีค่าอยู่ในช่วง 130 -1015 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 387.08 mg/l ส่วนปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากระบบมีค่าอยู่ในช่วง 13 - 53 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.29 mg/l จะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าน้อยกว่าน้ำเข้าอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.33 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 3 ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง พบว่า ในช่วงต้นที่ทำการทดลองจนถึงวันที่ 40 ของการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะออกมากับน้ำทิ้งในปริมาณน้อย ส่วนการทดลองในช่วงหลังน้ำที่ออกจากระบบจะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงกว่า



รูปที่ 4.33 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 3

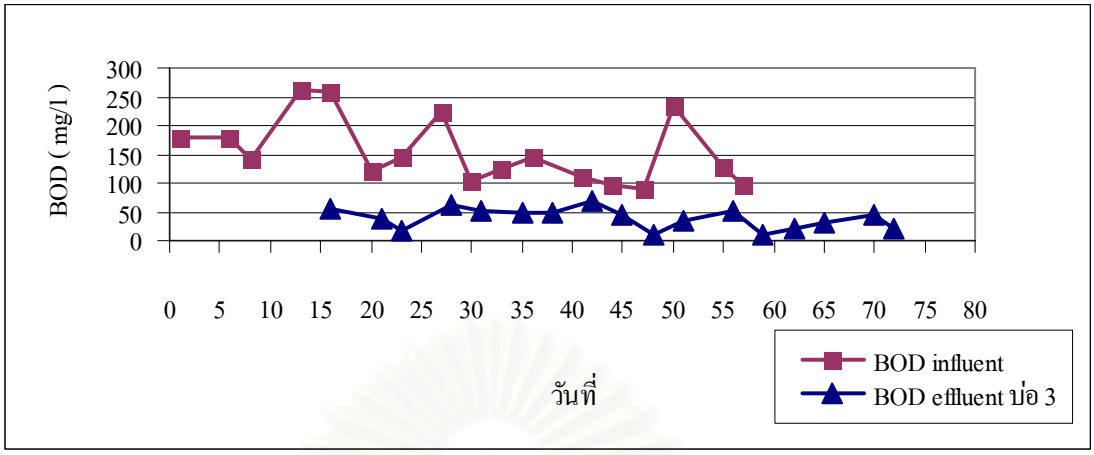
ประสิทธิภาพของการกำจัดของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วงร้อยละ 77.33 – 95.84 คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 90.49 ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยตลอดระยะเวลาการทดลอง จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 3

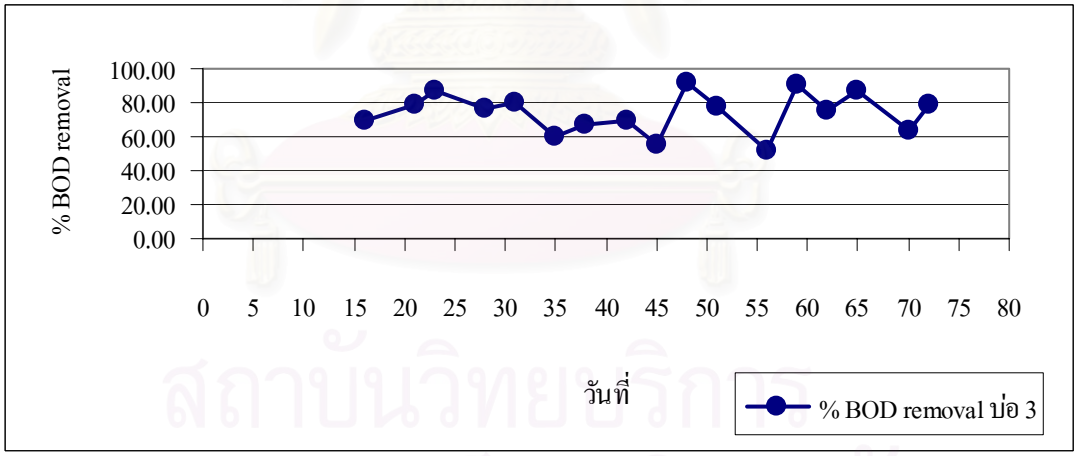
5) บีโอดี

น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 90 – 262.5 mg/l โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 154.49 mg/l ส่วนน้ำที่ออกจากระบบมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 9 - 62 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 38.73 mg/l ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อค่าบีโอดีของน้ำเข้ามีค่าลดลง จะทำให้ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งมีแนวโน้มลดลงต่ำกว่า 50 mg/l ดังแสดงในรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 ปริมาณบีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 3

ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 51.64 – 91.53 และมีค่าเฉลี่ยสูงคิดเป็นร้อยละ 74.11 สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดที่ระยะเวลาต่าง ๆ ที่ทำการทดลองค่อนข้างมีความแตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.36

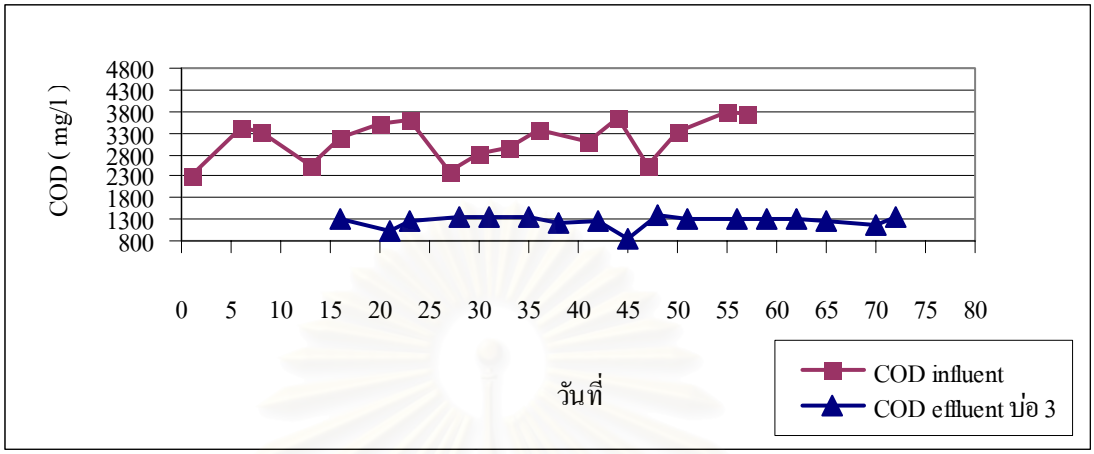


รูปที่ 4.36 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 3

6) ซีโอดี

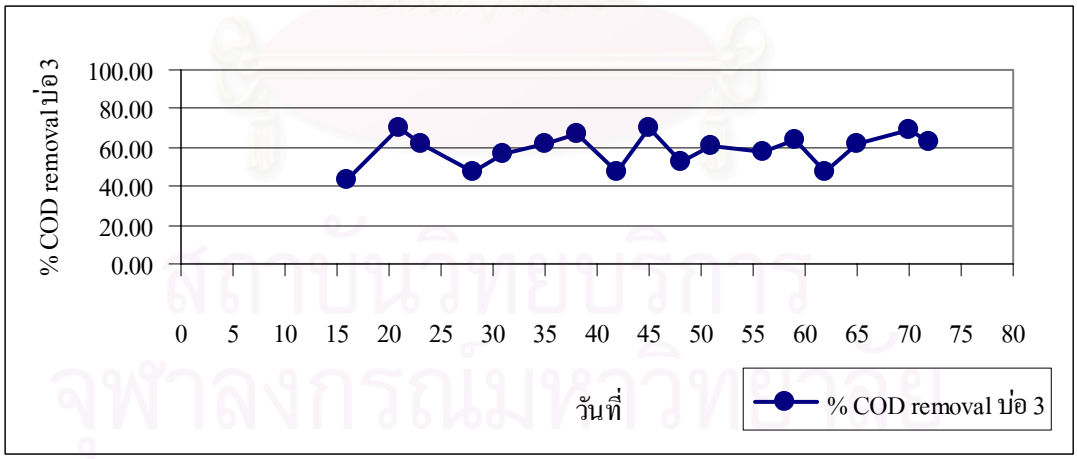
ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าอยู่ในช่วง 2319.20 – 3801.60 mg/l โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3153.95 mg/l ส่วนน้ำที่ออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีค่าซีโอดี

น้อยกว่าน้ำที่ป้อนเข้าระบบ ซึ่งน้ำที่ออกจากระบบมีปริมาณซีโอดีอยู่ในช่วง 844.8 – 1372.8 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1260.21 mg/l ดังแสดงในรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 ปริมาณซีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3

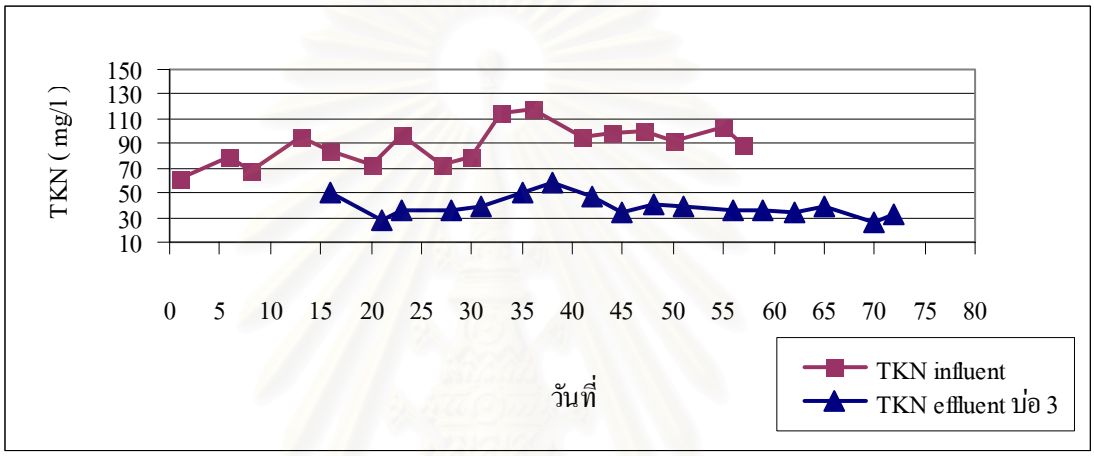
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3 อยู่ในช่วงร้อยละ 43.60 – 70.48 คิดเป็นประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 59.04 ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดที่ระยะเวลาต่าง ๆ ตลอดการทดลองมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 3

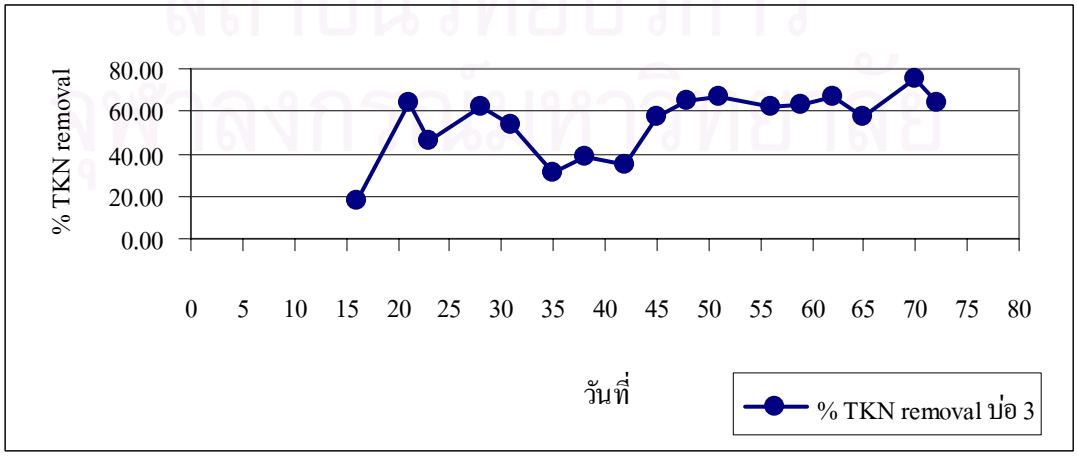
7) ทีเคเอ็น

ปริมาณทีเคเอ็นในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ มีค่าอยู่ในช่วง 61.6 – 117.6 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 89.36 mg/l ส่วนปริมาณทีเคเอ็นในน้ำออกจากระบบมีค่าอยู่ในช่วง 26.0 – 58.8 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 58.8 mg/l ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณทีเคเอ็นในน้ำออกมีค่าน้อยกว่าน้ำที่ป้อนเข้าระบบ ดังรูปที่ 4.39 และปริมาณทีเคเอ็นของน้ำที่ออกจากระบบในช่วงต้น จะมีค่าค่อนข้างแปรปรวน แต่ในช่วงหลังของการทดลองปริมาณทีเคเอ็นค่อนข้างคงที่



รูปที่ 4.39 ปริมาณทีเคเอ็นของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3

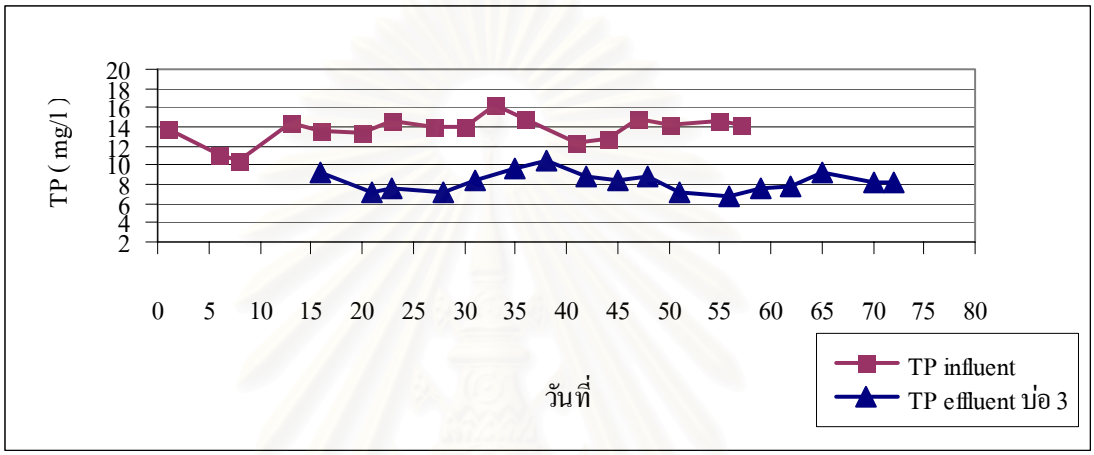
ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของบึงประดิษฐ์ อยู่ในช่วงร้อยละ 18.18 – 74.90 คิดเป็นประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 54.4 ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นมีความแปรปรวนสูงในช่วงเริ่มต้นของการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 3

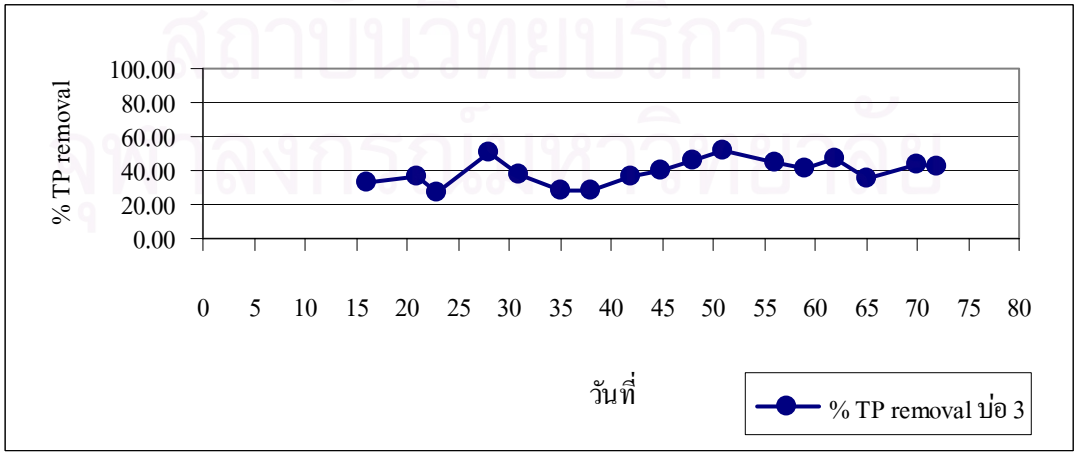
8) ฟอสฟอรัส

น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีค่าฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 10.5 – 16.3 mg/l โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.74 mg/l ส่วนน้ำที่ออกจากระบบมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 6.8 -10.4 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.27 mg/l ดังแสดงในรูปที่ 4.41 โดยปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าคงที่กว่าน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1 และ บ่อที่ 2



รูปที่ 4.41 ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3

ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของบึงประดิษฐ์อยู่ในช่วงร้อยละ 27.62 – 52.03 คิดเป็นประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 39.48 ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลาต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 3

4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1, 2 และ 3

บึงประดิษฐ์ที่ทดลองจะมีอัตราการไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบและระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียแตกต่างกัน คือ บ่อที่ 1 มีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 0.26 ลบ.ม./วัน มีระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน บ่อที่ 2 มีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 0.13 ลบ.ม./วัน มีระยะเวลาเก็บกัก 10 วันบ่อที่ 3 มีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 0.086 ลบ.ม./วัน มีระยะเวลาเก็บกัก 15 วัน ซึ่งผลการทดลองจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของบึงประดิษฐ์ทั้ง 3 บ่อ โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ แสดงรายละเอียดใน ภาคผนวกตารางที่ ก-5 ถึง ก-12

1) พีเอช

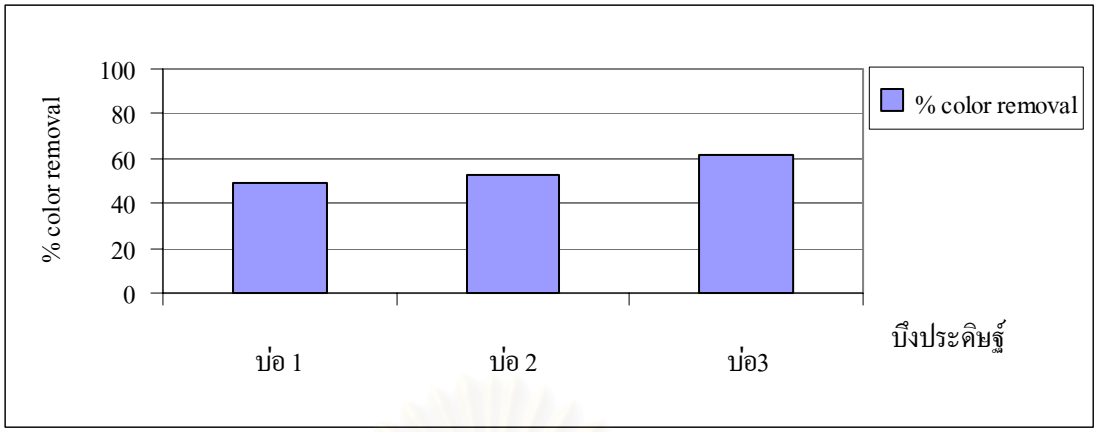
น้ำเข้าของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1 บ่อที่ 2 และบ่อที่ 3 มีค่าพีเอชเฉลี่ย 9.27 ส่วนน้ำที่ออกจากระบบ บ่อที่ 1 บ่อที่ 2 และบ่อที่ 3 มีค่าพีเอชเฉลี่ย 8.92 8.94 และ 8.84 ตามลำดับ โดยน้ำที่ออกจากระบบมีพีเอชลดลงเล็กน้อย

2) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่ออกจากบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1 บ่อที่ 2 และ บ่อที่ 3 มีค่า 26.96, 27.08, 27.17 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่ป้อนเข้าระบบมีค่า 27.14 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในบ่อที่ 1 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำออกต่ำกว่าน้ำเข้า ส่วนบ่อที่ 2 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำออกมีค่าต่ำกว่าน้ำเข้าเล็กน้อย ส่วนบ่อที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าสูงกว่าน้ำที่เข้าระบบเล็กน้อย

3) สี

ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1 บ่อที่ 2 และ บ่อที่ 3 คิดเป็นร้อยละ 49.06 52.86 และ 61.65 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.43



รูปที่ 4.43 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีของบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อ

จากการศึกษาเปรียบเทียบพบว่าบ่อที่ 3 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีดีที่สุด รองลงมาได้แก่ บ่อที่ 2 และ บ่อที่ 1 ซึ่งบ่อที่ 3 น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีอัตราการไหล 0.086 ลบ.ม./วัน (86 ลิตร/วัน) และมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในระบบ 15 วัน บ่อที่ 2 น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีอัตราการไหล 0.13 ลบ.ม./วัน (130 ลิตร/วัน) มีระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน ส่วนบ่อที่ 1 น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีอัตราการไหลเท่ากับ 0.26 ลบ.ม./วัน (260 ลิตร/วัน) จะเห็นได้ว่า บ่อที่ 3 ซึ่งมีระยะเวลาในการเก็บกักน้ำที่นานกว่าบ่อที่ 2 และ บ่อที่ 1 มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดีกว่า โดยเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักจาก 5 วัน เป็น 10 วัน ประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.8 และเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักจาก 10 วัน เป็น 15 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.79

ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อ ไม่สูงมากนัก เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีสีน้ำตาลแดง ซึ่งประกอบด้วยรงควัตถุ พวกแอนโทไซยานิน และ แคโรทีน ที่ถูกสกัดออกมาพร้อมกับน้ำมันและไอน้ำจากกระบวนการผลิต และมีสารประกอบพวกโพลีฟีนอล แทนนิน เพคติน และโพลีแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยังพบสารประกอบพวกเมลานอยดิน และสารประกอบพวกกัม (gum) ซึ่งเมื่อโดนความร้อนในขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์มจะทำให้เกิดสีน้ำตาลคล้ำขึ้น และเมื่อเกิดการรวมตัวกับเกลือของโลหะ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และทองแดง ทำให้เกิดการคงตัวของสี และสารพวกออกซิเดทีฟ (oxidative)ในน้ำทิ้งได้ เนื่องจากสารเหล่านี้มีความคงตัวสูงและย่อยสลายได้ยาก ทำให้น้ำที่ออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ยังคงมีสีน้ำตาลแดงอมส้มให้เห็นอยู่ แสดงในรูปที่ 4.44 และจากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่จุดต่าง ๆ ของระบบด้วยเครื่อง HPLC (ภาคผนวก ค) พบว่าโครงสร้างสีของน้ำเสียที่จุดเก็บตัวอย่างในระบบบึงประดิษฐ์รวมทั้งน้ำทิ้งมีโครงสร้างสีของน้ำเสียเหมือนกัน แสดงให้เห็นว่าการ

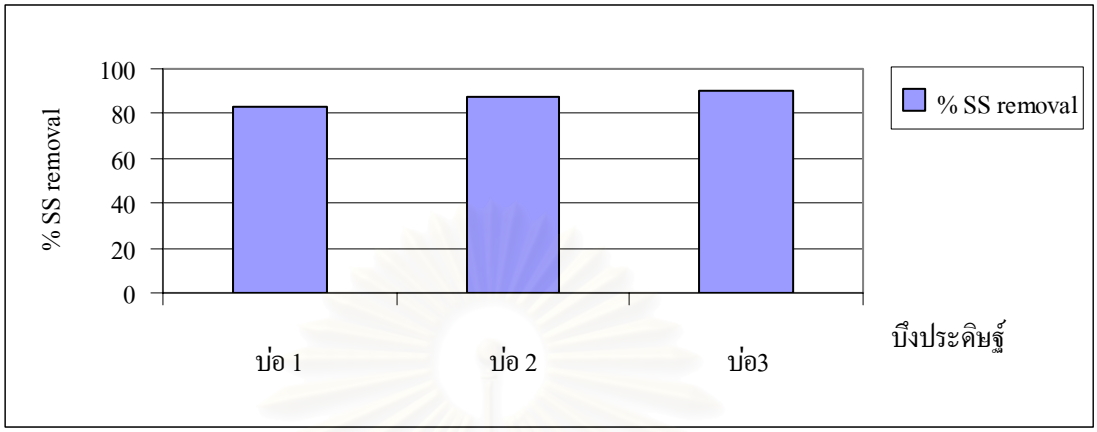
กำจัดสีโดยระบบบำบัดบึงประดิษฐ์เกิดจากการกรอง การตกตะกอน ทำให้น้ำเสียที่ออกจากระบบมีความเข้มสีลดลง ไม่ได้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสีที่มีอยู่ในน้ำเสียแต่อย่างใด

รูปที่ 4.44 สีของน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์

4) ของแข็งแขวนลอย

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ป้อนเข้าระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 387.08 mg/l ส่วนปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากระบบบำบัด บ่อที่ 1 บ่อที่ 2 และบ่อที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 48.94, 39.20 และ 29.59 mg/l ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดสูงถึงร้อยละ 83.30, 87.43 และ 90.49 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยบ่อที่ 3 มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาได้แก่ บ่อที่ 2 ส่วน บ่อที่ 1 ประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.45 จะเห็นได้ว่าบึงประดิษฐ์ทั้งสามบ่อมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ดีมาก โดยบ่อที่ 3 ซึ่งมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียนานกว่าบ่อที่ 2 และบ่อที่ 1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ดีกว่า เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำที่ป้อนเข้าระบบมีปริมาณน้อยกว่าและมีภาระทางชลศาสตร์ที่น้อยกว่า คือ 0.9 เซนติเมตร/วัน และมีระยะเวลาเก็บกักน้ำที่นานกว่า ทำให้ของแข็งแขวนลอยถูกกำจัด โดยการตกตะกอน การกรองผ่านชั้นตัวกลางและรากพืชในระบบ จึงทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลง พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักจาก 5 เป็น 10 วัน ประสิทธิภาพ

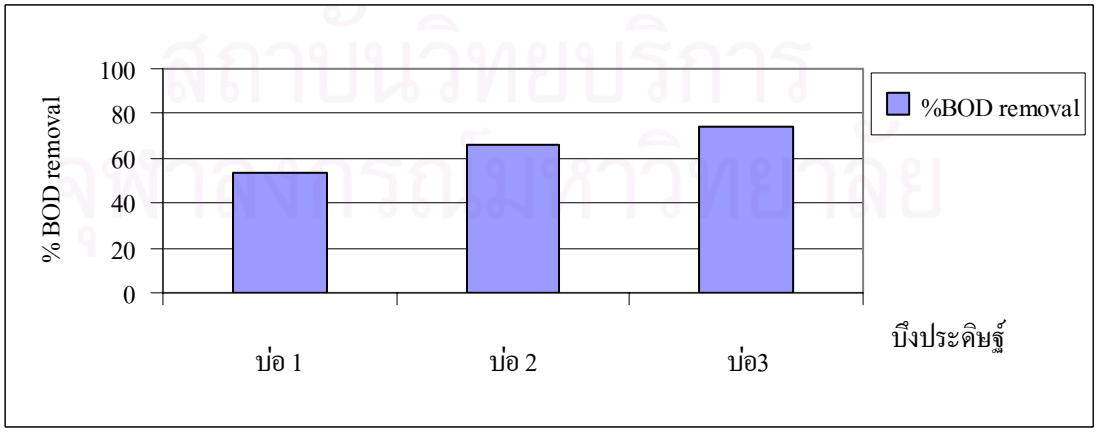
ในการกำจัดของแข็งแขวนลอย เท่ากับร้อยละ 4.13 และเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักจาก 10 วัน เป็น 15 วัน ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 3.06



รูปที่ 4.45 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อ

5) บีโอดี

ปริมาณบีโอดีในน้ำที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 154.79 mg/l ส่วนปริมาณบีโอดีในน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1 บ่อที่ 2 และ บ่อที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 67.36 50.68 และ 38.73 mg/l ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1 บ่อที่ 2 และ บ่อที่ 3 เฉลี่ยร้อยละ 53.84 65.85 และ 74.11 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าบ่อที่ 3 มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมา ได้แก่ บ่อที่ 2 และ บ่อที่ 1 ดังรูปที่ 4.46

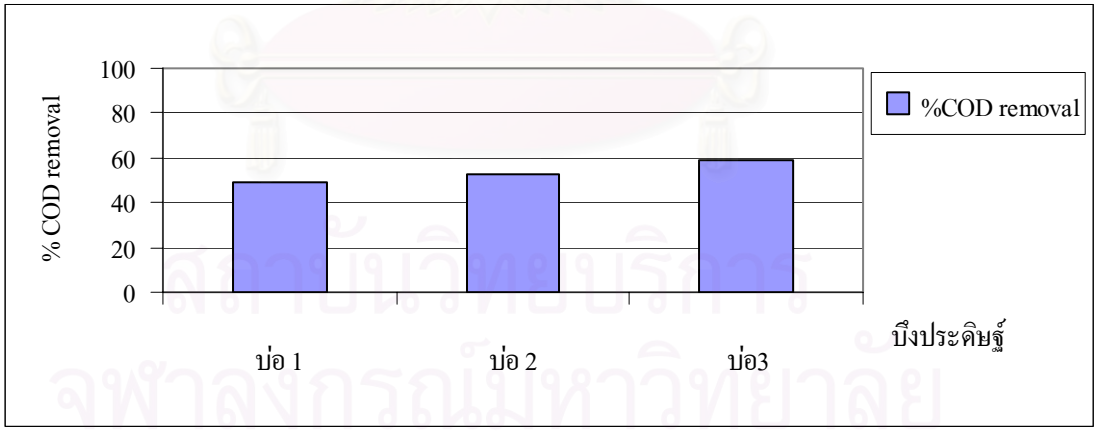


รูปที่ 4.46 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อ

บึงประดิษฐ์ในบ่อที่ 1 และบ่อที่ 2 ซึ่งมีระยะเวลาเก็บกักน้ำในระบบ 5 วัน และ 10 วัน ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีได้ปานกลาง ส่วนบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3 ซึ่งมีระยะเวลาเก็บกักน้ำในระบบ 15 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีค่อนข้างดี แต่ทั้งนี้ปริมาณบีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียที่ออกจากระบบเท่ากับ 38.73 mg/l ซึ่งมีค่าสูงกว่าคุณภาพน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ และเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำจาก 5 เป็น 10 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.01 แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำจาก 10 เป็น 15 วันประสิทธิภาพในการกำจัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.26 เท่านั้น ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ เกิดจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ดังนั้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำที่ป้อนเข้าระบบมีปริมาณน้อย และมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียที่นานขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีขึ้น เนื่องจากน้ำเสียมีโอกาสสัมผัสกับจุลินทรีย์ได้มากยิ่งขึ้น

6) ซีโอดี

ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1 บ่อที่ 2 และ บ่อที่ 3 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 48.86 52.68 และ 59.06 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.47 จะเห็นได้ว่าบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมากที่สุด ส่วนบ่อที่ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีรองลงมา และบ่อที่ 1 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ต่ำที่สุด



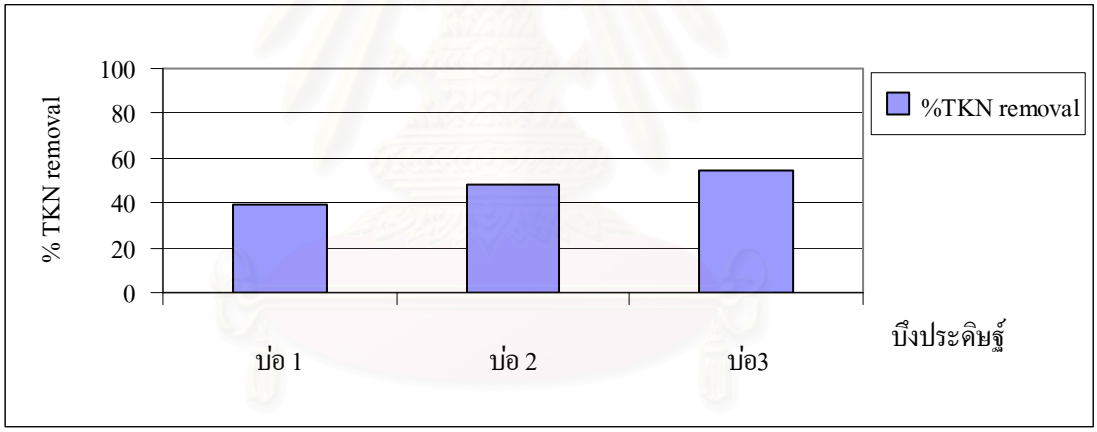
รูปที่ 4.47 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อ

บึงประดิษฐ์ทั้งสามบ่อมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียได้ปานกลาง และการที่บ่อที่ 3 มีประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด เนื่องมาจากอัตราการไหลของน้ำที่ป้อนเข้าระบบมีค่าน้อยกว่ารวมทั้งมีระยะเวลาเก็บกักน้ำนานกว่า บ่อ 1 และ บ่อ 2 ซึ่งทำให้น้ำเสียที่

ป้อนเข้าระบบถูกบำบัดโดยกลไกต่าง ๆ ของบึงประดิษฐ์ได้ดีกว่า จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักจาก 5 เป็น 10 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นร้อยละ 4 แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำจาก 10 เป็น 15 วัน ทำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.38

7) ทีเคเอ็น

ปริมาณทีเคเอ็นในน้ำที่ป้อนเข้าบึงประดิษฐ์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 89.36 mg/l ส่วนปริมาณทีเคเอ็นในน้ำที่ออกจากระบบบ่อที่ 1 บ่อที่ 2 และ บ่อที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 52.09 44.66 และ 39.06 ตามลำดับ โดยปริมาณทีเคเอ็นในน้ำที่เข้าระบบมีค่าต่ำ และประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นของบึงประดิษฐ์ทั้งสามบ่ออยู่ในระดับปานกลาง โดยบ่อที่ 3 มีประสิทธิภาพในการกำจัดมากสุด คิดเป็นร้อยละ 54.4 ส่วนบ่อที่ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดรองลงมาคือร้อยละ 48.32 ส่วนบ่อที่ 1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นต่ำสุดคิดเป็นร้อยละ 39.71 ดังแสดงในรูปที่ 4.48

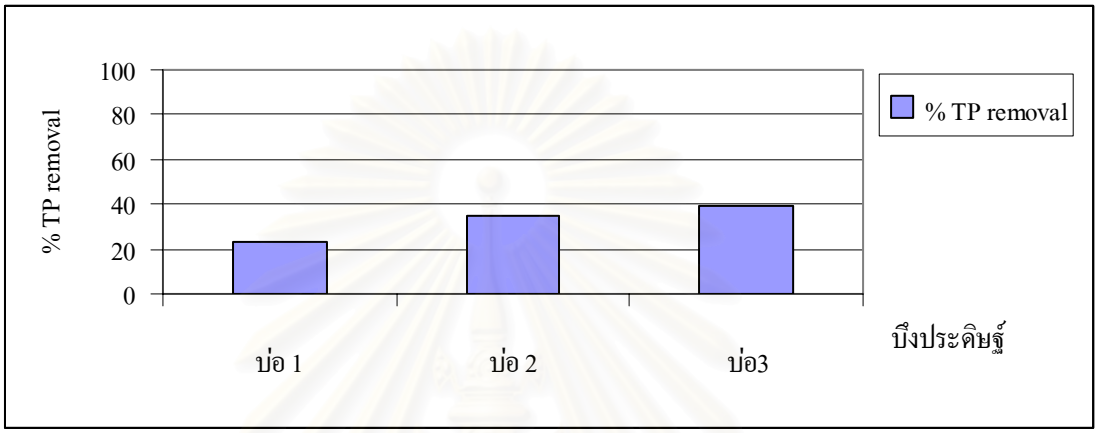


รูปที่ 4.48 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อ

8) ฟอสฟอรัส

ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำที่เข้าระบบมีค่าน้อยโดยเฉลี่ยเท่ากับ 13.74 mg/l ส่วนน้ำที่ออกจากระบบบ่อที่ 1 บ่อที่ 2 และบ่อที่ 3 มีปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ย 10.47 8.90 และ 8.27 mg/l ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 23.10 35.12 และ 39.48 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าบึงประดิษฐ์ทั้งสามบ่อมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสได้ค่อนข้างต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.49 โดยบ่อที่ 3 ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำที่ 0.086 ลบ.ม./วัน และมีระยะเวลา

เก็บกัก 15 วันมีประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุด ส่วนบ่อที่ 2 เป็นบ่อที่มีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบที่ 0.13 ลบ.ม./วัน และมีระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดรองลงมา สำหรับบ่อที่ 1 เป็นบ่อที่มีอัตราการไหลของน้ำเข้าระบบมากสุดคือ 0.26 ลบ.ม./วัน และมีระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน ซึ่งระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียที่มากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสได้มากขึ้น



รูปที่ 4.49 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อ

4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่ระยะทางต่าง ๆ ของบึงประดิษฐ์

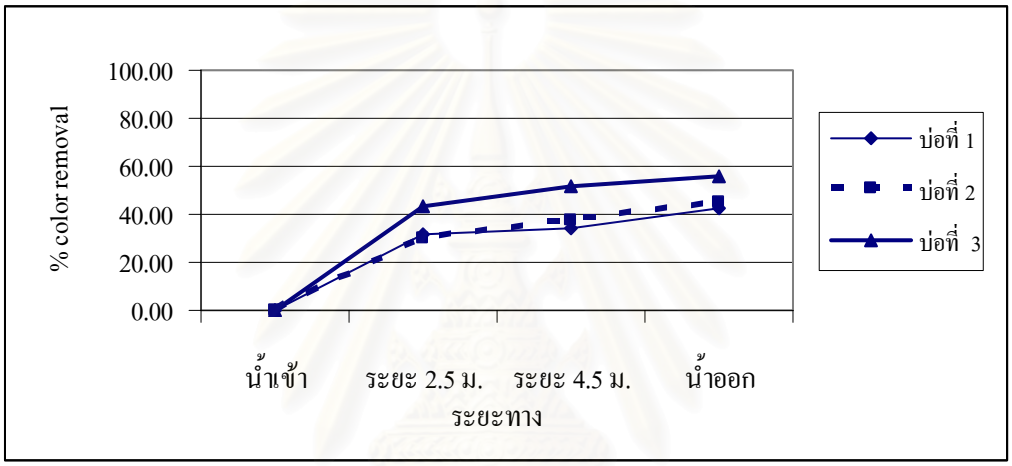
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่ระยะต่าง ๆ ของบึงประดิษฐ์นั้น จะแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของปริมาณมลสารต่าง ๆ ตามระยะทาง โดยบึงประดิษฐ์ที่ใช้ทดลองนี้มีความยาว 7 เมตร และจะพิจารณาทั้งหมด 4 จุด ได้แก่ จุดที่ 1 คือ น้ำเข้าระบบ จุดที่ 2 คือที่ระยะ 2.5 เมตร นับจากต้นบ่อ จุดที่ 3 คือที่ระยะ 4.5 เมตร นับจากต้นบ่อ ส่วนจุดที่ 4 คือน้ำที่ออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ ซึ่งจะวิเคราะห์โดยใช้พารามิเตอร์ สี ของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัส ดังนี้ รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวกตารางที่ ก-13 ถึง ก-19

1) สี

ประสิทธิภาพในการกำจัดสีตามระทางของบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3 มีค่าสูงสุด ส่วนบ่อที่ 2 และ บ่อที่ 1 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน และพบว่าที่ระยะทาง 2.5 เมตรแรกของบึงประดิษฐ์ ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนระยะทางหลังจากนี้ประสิทธิภาพจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บ

กักน้ำเสียให้นานขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.50 ซึ่งกล่าวได้ว่าสีที่ปรากฏในน้ำเสียนั้น ประกอบด้วยส่วนที่ย่อยสลายหรือถูกกำจัดโดยระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ได้ง่ายและได้ยากรวมกัน ซึ่งในส่วนของสารที่ย่อยสลายได้ง่ายจะถูกกำจัดอย่างรวดเร็วบริเวณต้นบ่อ และระยะหลังจะเหลือพวกที่ย่อยสลายได้ยาก

ประสิทธิภาพการกำจัดตามระยะทางต่าง ๆ ของบึงประดิษฐ์ของบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3 ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำต่ำกว่าบ่อที่ 2 และบ่อที่ 1 ตามลำดับ และมีระยะเวลาเก็บกักน้ำที่นานกว่าบ่อที่ 2 และบ่อที่ 1 ตามลำดับ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของบ่อที่ 3 เกิดขึ้นได้ดีกว่า แต่ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดของน้ำที่ออกจากระบบก็ไม่สูงมากนัก

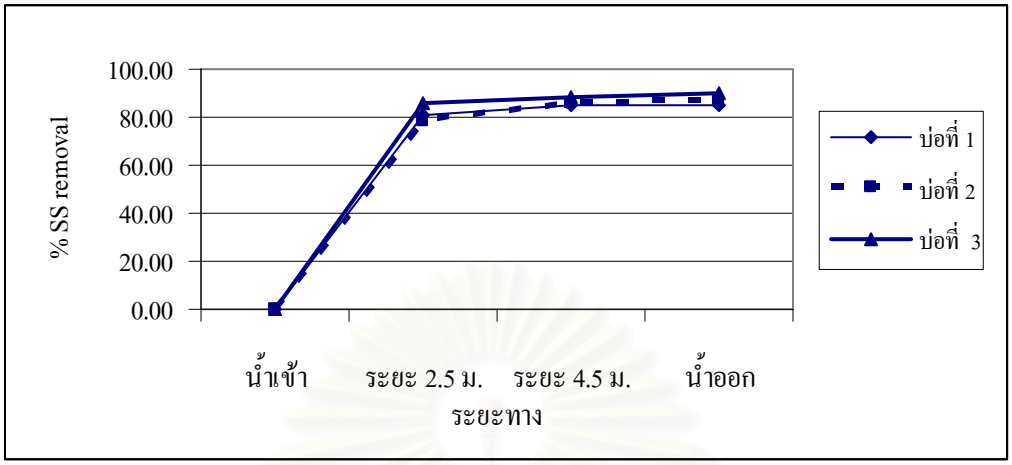


รูปที่ 4.50 ประสิทธิภาพการกำจัดสีตามระยะทางของบึงประดิษฐ์ทั้ง 3 บ่อ

2) ของแข็งแขวนลอย

การกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์จะเกิดอย่างรวดเร็วในช่วง 2.5 เมตรแรกบริเวณต้นบ่อ ซึ่งที่ระยะนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดของบึงประดิษฐ์ทั้งสามบ่อมีค่ามากว่าร้อยละ 80 โดย บ่อที่ 1 บ่อที่ 2 และบ่อที่ 3 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 80.94 81.04 และ 85.55 ตามลำดับ ส่วนที่ระยะทางหลังจากนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยจะเกิดเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.51 นั่นคือเมื่อน้ำเสียเข้าสู่บึงประดิษฐ์โดยไหลผ่านชั้นตัวกลางและรากต้นธูปฤาษี ทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยจะถูกกำจัดโดยการตกตะกอน การกรองและการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ระบบบึงประดิษฐ์ ในส่วนของอัตราการไหลของน้ำที่ป้อนเข้าระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ และระยะเวลาในการเก็บกักน้ำ ก็มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้น โดยในบ่อที่ 3 ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำที่เข้าระบบน้อย

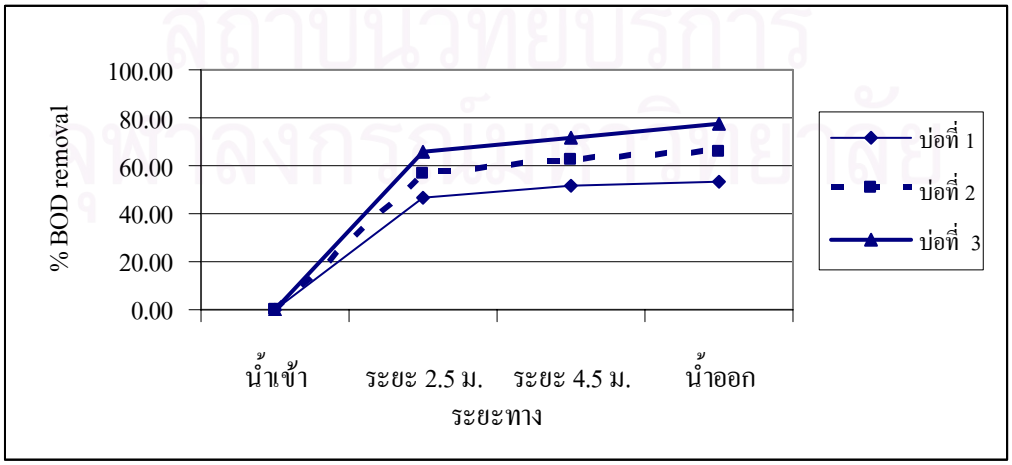
และมีระยะเวลาเก็บกักน้ำที่นานกว่าบ่อที่ 2 และบ่อที่ 1 ตามลำดับ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นได้ดีกว่า



รูปที่ 4.51 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยตามระยะทางของบึงประดิษฐ์ทั้ง 3 บ่อ

3) บีโอดี

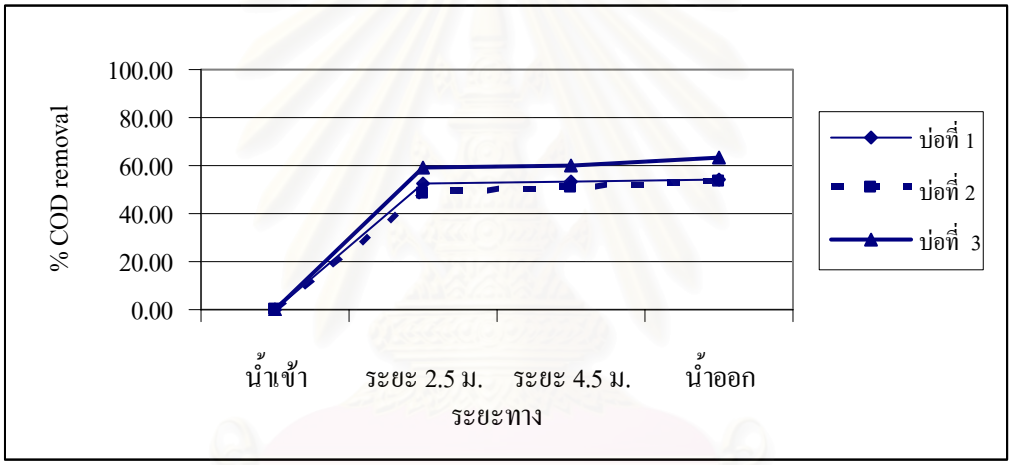
ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีจะเกิดได้ดีในช่วงต้นของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ทั้งสามบ่อ ส่วนที่ระยะทางหลังจาก 2.5 เมตรไปแล้วประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดที่น้ำออกจากระบบ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีในแต่ละจุดของบึงประดิษฐ์ทั้งสามบ่อนั้น พบว่าบึงประดิษฐ์บ่อที่ 3 มีประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด รองมาได้แก่ บ่อที่ 2 และสุดท้ายคือบ่อที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.52 ซึ่งบ่อที่ 3 มีระยะเวลาในการเก็บกักน้ำที่นานกว่าบ่อที่ 2 และบ่อที่ 1 ทำให้น้ำเสียที่เข้าสู่บึงประดิษฐ์มีระยะเวลาสัมผัสกับจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณโซนรากที่มีอากาศ จุลินทรีย์ที่เกาะอยู่กับตัวกลาง และที่แขวนลอยอยู่ในบึงประดิษฐ์ ซึ่งจะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียได้มากขึ้น



รูปที่ 4.52 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีตามระยะทางของบึงประดิษฐ์ทั้ง 3 บ่อ

4) ซีโอดี

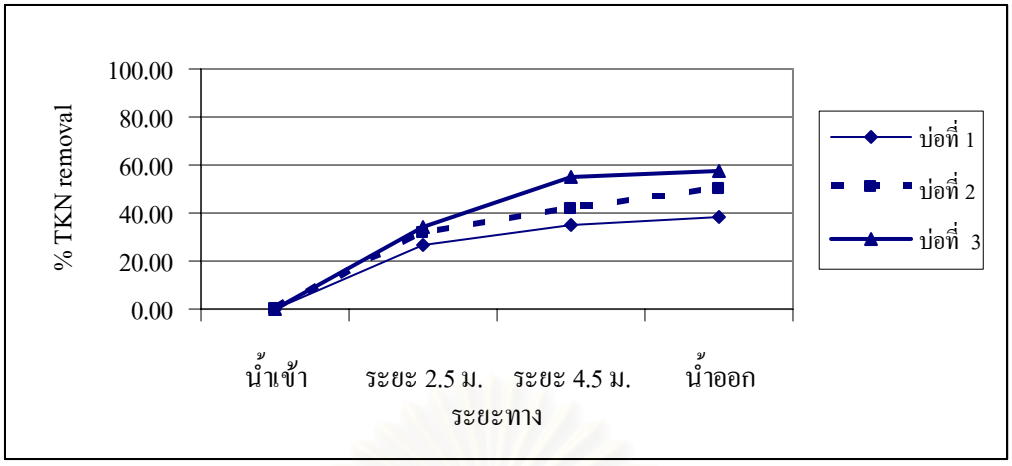
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะ 2.5 เมตรแรกของระบบ ส่วนที่ระยะทางหลังจากนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดค่อนข้างคงที่ นั่นคือ ซีโอดีที่ย่อยสลายได้ง่ายจะถูกกำจัดอย่างรวดเร็วและเกือบหมดในช่วงต้นบ่อ ส่วนหลังจากนั้นจะเหลือพวกที่ย่อยสลายได้ยาก ดังแสดงในรูปที่ 4.53 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดตามระยะทางของบึงประดิษฐ์บ่อที่ 1 และ บ่อที่ 3 จะมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนในบ่อที่ 3 ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำที่เข้าระบบน้อยกว่าและมีระยะเวลาในการเก็บกักน้ำที่นานกว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้ดีกว่า บ่อที่ 1 และบ่อที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียมีโอกาสในการถูกกำจัดโดยกลไกต่าง ๆ ของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ได้ดีขึ้น



รูปที่ 4.53 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตามระยะทางของบึงประดิษฐ์ทั้ง 3 บ่อ

5) ทีเคเอ็น

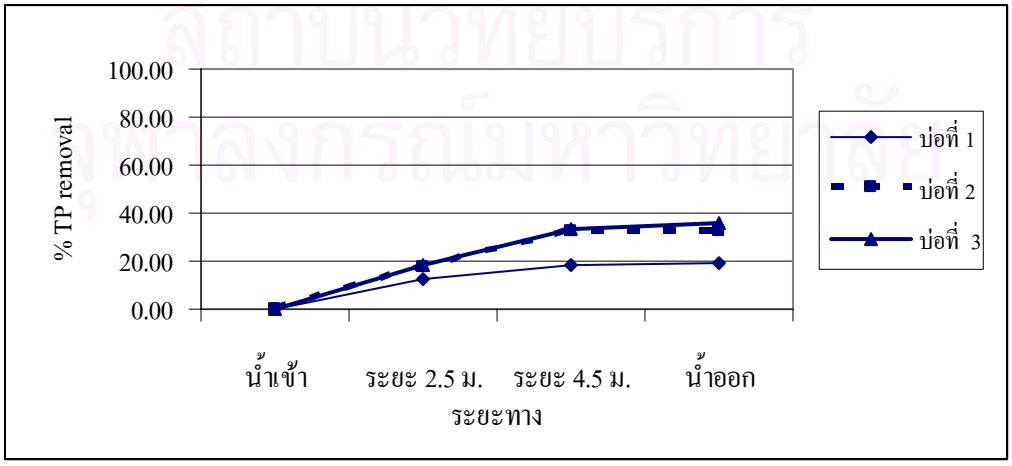
ประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะทางในบึงประดิษฐ์ โดยประสิทธิภาพการกำจัดของบ่อที่ 3 จะดีที่สุด ส่วนบ่อที่ 2 มีประสิทธิภาพรองลงมา และบ่อที่ 1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.54 จะเห็นได้ว่าบึงประดิษฐ์ทั้งสามบ่อมีการปลูกต้นธูปฤาษี ซึ่งพืชจะใช้ไนโตรเจนในการเจริญเติบโต ทำให้ประสิทธิภาพในการในการกำจัดทีเคเอ็นเกิดขึ้นในบึงประดิษฐ์ตลอดระยะทางจนถึงจุดที่น้ำออกจากระบบ นอกจากนี้อัตราการไหลของน้ำที่เข้าระบบที่น้อย และมีระยะเวลาเก็บกักน้ำที่นานขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นได้ดีขึ้น



รูปที่ 4.54 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นตามระยะทางของบึงประดิษฐ์ทั้ง 3 บ่อ

6) ฟอสฟอรัส

การกำจัดฟอสฟอรัสที่ระยะทางในบึงประดิษฐ์บ่อที่ 2 และ บ่อที่ 3 ซึ่งมีระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 10 วัน และ 15 วัน ตามลำดับ มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ส่วนในบ่อที่ 1 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดตามระยะทางต่าง ๆ น้อยกว่า โดยประสิทธิภาพในการกำจัดของทั้งสามบ่อ จะเพิ่มขึ้นในช่วงระยะทางจากทางน้ำเข้าถึงที่ระยะ 4.5 เมตร ส่วนที่ระยะทางหลังจากนี้ ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสจะเพิ่มอีกเล็กน้อย นั่นคือ การกำจัดฟอสฟอรัสของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ ซึ่งเกิดกลไกหลักคือการดูดติดผิวตัวกลาง และการตกตะกอน เมื่ออัตราการไหลของน้ำที่ป้อนเข้าระบบมีค่าลดลง และระบบจะมีอัตราภาระชลศาสตร์ต่ำ รวมทั้งมีระยะเวลาเก็บกักน้ำนานขึ้น ทำให้น้ำเสียค่อย ๆ ไหลผ่านชั้นตัวกลางอย่างช้า ๆ ฟอสฟอรัสจึงถูกดูดติดผิวและตกตะกอนได้มากขึ้น และถูกพืชนำไปใช้ได้มากขึ้นด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.55

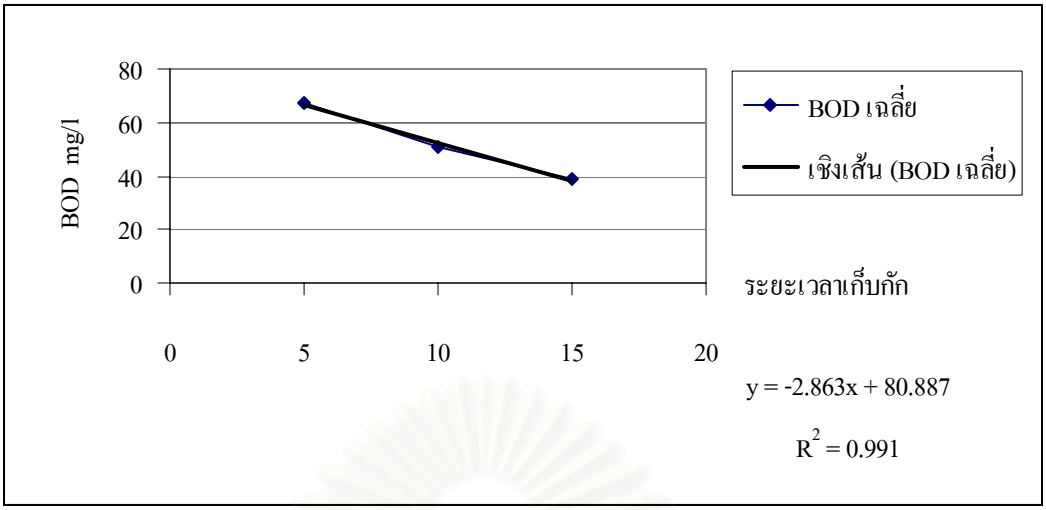


รูปที่ 4.55 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสตามระยะทางของบึงประดิษฐ์ทั้ง 3 บ่อ

4.4 การนำบึงประดิษฐ์ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

บึงประดิษฐ์ที่ทำการทดลองมีขนาด กว้าง 1.5 เมตร ยาว 7 เมตร สูง 0.45 เมตร มีปริมาตร เท่ากับ 4.725 ลบ.ม และมีปริมาตรของตัวกลางเท่ากับ 3.4125 ลบ.ม. และจากการทดลองเมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำที่ป้อนเข้าระบบต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในระบบบำบัดต่างกัน พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำเสียต่ำ หรือระยะเวลาในการเก็บกักเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงขึ้น และพบว่าบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำเข้าระบบเท่ากับ 0.26, 0.13 และ 0.086 ลบ.ม./วัน ตามลำดับ และมีระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 5, 10 และ 15 วัน ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารต่าง ๆ ได้ดี แต่จากการที่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 10 และ 15 วัน มีค่าคิดเป็นร้อยละ 53.81 65.85 และ 74.11 ตามลำดับ และพบว่าน้ำที่ออกจากระบบบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 67.36 50.68 และ 38.73 mg/l ตามลำดับ ค่าบีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบยังเกินมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งกำหนดให้มีบีโอดีไม่เกิน 20 mg/l ส่วนค่าซีโอดียังมีค่าสูงมากเช่นกัน เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ยากต่อการย่อยสลายสะสมในระบบเป็นเวลานาน โดยค่าซีโอดีของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 5 10 และ 15 วัน มีค่าซีโอดีเฉลี่ยในน้ำทิ้ง เท่ากับ 1572 1453 และ 1260 mg/l ตามลำดับ ดังนั้นในการนำระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ไปใช้งานจริง และเพื่อลดปริมาณบีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดให้ได้มาตรฐานน้ำทิ้ง จะต้องเพิ่มระยะเวลาในการเก็บกักน้ำในระบบเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บกักน้ำ จาก 5 10 และ 15 วันพบว่า ค่าบีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลง ดังสมการแนวโน้ม $y = -2.863x + 80.887$ และมีค่า $R^2 = 0.991$ และพบว่าถ้าต้องการให้น้ำที่ออกจากระบบมีค่าบีโอดีต่ำกว่า 20 mg/l จะต้องใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำมากกว่า 21.27 วัน (ประมาณ 22 วัน) ดังรูปที่ 4.56

การนำระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ไปใช้งานจริงเพื่อให้น้ำทิ้งได้มาตรฐาน อีกวิธีหนึ่ง คือ จะต้องมีการเจือจางน้ำเสียก่อนที่จะเข้าระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ เนื่องจากน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบ่อหมักและบ่อผึ่งมาแล้ว ดังนั้นน้ำเสียจึงประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากมาก และการที่น้ำเสียที่ป้อนเข้าบึงประดิษฐ์มีค่าบีโอดีสูงเกินไป ก็อาจทำให้น้ำทิ้งยังคงมาค่าบีโอดีสูงอยู่ ดังนั้นจึงอาจนำน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มาแล้วหมุนเวียนน้ำกลับมาเจือจางน้ำเสียก่อนเข้าระบบและบำบัดจนกว่าคุณภาพน้ำทิ้งจะได้มาตรฐาน



รูปที่ 4.56 แนวโน้มการลดลงของค่าบีโอดีเมื่อระยะเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาในส่วนของการระเหยของน้ำจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์เมื่อนำไปใช้งานจริงนั้น พบว่า อุณหภูมิของอากาศบริเวณที่ตั้งระบบบำบัดมีค่าเท่ากับ 34 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิของน้ำในบึงประดิษฐ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิของอากาศกับน้ำแตกต่างกันถึง 6 องศาเซลเซียส ซึ่งจะส่งผลต่อการระเหยของน้ำในพื้นที่ของบึงประดิษฐ์เป็นปริมาณมาก และเมื่อทำการวัดอัตราการสูญเสียน้ำของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ โดยคิดจากผลต่างของอัตราการไหลของน้ำที่เข้าระบบกับอัตราการไหลของน้ำที่ออกจากระบบ ซึ่งจากการทดลองพบว่าบึงประดิษฐ์ที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบเท่ากับ 0.086 ลบ.ม.(86 ลิตร/วัน) มีค่าการสูญเสียน้ำเท่ากับ 6.7 ลิตร/วัน คิดเป็นร้อยละการสูญเสียน้ำเท่ากับ 7.8 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์สามารถลดปริมาณน้ำได้ในปริมาณมาก ซึ่งเกิดจาก การระเหยของน้ำในตัวกลางสู่อากาศและจากการคายน้ำของพืชในบึงประดิษฐ์ นั่นคือ เมื่อนำระบบไปใช้งานจริงจะทำให้ปริมาณน้ำถูกกำจัดออกไปได้อย่างรวดเร็วและสามารถป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบเพิ่มเติมได้อีกอย่างต่อเนื่อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) อัตราการไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด โดยอัตราการไหลของน้ำจะกำหนดระยะเวลาเก็บกักน้ำ และภาระบรรทุกทางศาสตร์ของบึงประดิษฐ์ พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำเข้าระบบต่ำ หรือมีระยะเวลาเก็บกักน้ำยาวนานขึ้น มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารต่าง ๆ สูงขึ้น จากการทดลองนี้บึงประดิษฐ์ที่ประสิทธิภาพดีที่สุดคือ บึงประดิษฐ์บ่อที่ 3 ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ 0.086 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 15 วัน และมีภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 0.9 เซนติเมตร/วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็นและฟอสฟอรัส คิดเป็นร้อยละ 61.65, 90.49, 74.11, 59.06, 54.4 และ 39.48 ตามลำดับ

บึงประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพรองลงมา ได้แก่ บึงประดิษฐ์ บ่อที่ 2 มีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 0.13 ลบ.ม./วัน มีระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน และมีภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 1.34 เซนติเมตร/วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็นและฟอสฟอรัส คิดเป็นร้อยละ 52.86, 88.28, 65.85, 52.68, 48.32 และ 35.12 ตามลำดับ

ส่วนบึงประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพต่ำสุด คือ บึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1 มีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 0.26 ลบ.ม./วัน มีระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน และมีภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2.7 เซนติเมตร/วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็นและฟอสฟอรัส คิดเป็นร้อยละ 49.06, 85.48, 53.81, 48.86, 39.71 และ 23.10 ตามลำดับ

2) บึงประดิษฐ์สามารถนำมาใช้ในการบำบัดขั้นที่สามสำหรับน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้ โดยบึงประดิษฐ์จะกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ดีมาก และสามารถกำจัดสีของน้ำเสียได้มากกว่าร้อยละ 60 และสามารถปรับค่าพีเอชของน้ำเสียลงได้เล็กน้อย ส่วนปริมาณซีโอดีและทีเคเอ็นบึงประดิษฐ์สามารถกำจัดได้ปานกลาง และกำจัดฟอสฟอรัสได้ค่อนข้างต่ำ แต่ทั้งนี้ระบบบำบัดบึง

ประดิษฐ์ไม่สามารถกำจัดปริมาณบีโอดีให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้ นั่นคือ ปริมาณบีโอดีในน้ำที่ออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 38.73 mg/l และถ้าต้องการให้ค่าบีโอดีได้ตามมาตรฐาน จะต้องใช้ระยะเวลาเก็บกักมากกว่า 22 วัน หรือการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของบึงประดิษฐ์ให้มากขึ้น

3) ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารต่าง ๆ ของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์จะเกิดขึ้นอย่างมากและรวดเร็ว ในช่วงระยะทาง 2.5 เมตรแรกของระบบบำบัด ส่วนระยะหลังจากนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดจะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย

4) ต้นธูปฤาษีสามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้ และสามารถเจริญเติบโตตามระยะเวลาที่ผ่านไป

5) ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดินในแนวนอนไม่ได้ทำให้องค์ประกอบที่มีอยู่ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบเปลี่ยนไป นั่นคือระบบบำบัดบึงประดิษฐ์จะมีกลไกในการกำจัดสี ด้วยกลไกของการกรองและการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ หรือการดูดซับโดยตัวกลางทำให้ความเข้มสีของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีค่าลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ศึกษาการใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในระบบบึงประดิษฐ์ให้นานขึ้น

2)ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดของบึงประดิษฐ์ ในกรณีที่ปลูกต้นธูปฤาษีให้มีความหนาแน่นมากกว่า 4 ต้น/ตารางเมตร

3) ศึกษาระยะเวลาการใช้งานของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ในการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในระยะยาว

4) ศึกษาการกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ร่วมกับการบำบัดแบบอื่นที่สามารถกำจัดสารที่ย่อยสลายยากในน้ำเสีย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

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

จินตนา แก้วบริสุทธิ์.2541.การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยกระบวนการดูดซับในชั้นตรึง. สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธาริณี วัฒนเดชาชาญ. 2545. การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน,กรม.2545.การศึกษาความเหมาะสมก่อนการลงทุนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม.รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1.

พิจิตรา ชโยปถัมภ์.2544.การปรับปรุงคณภาพน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พิรัฐพล ตนสนนท์.2544.การบำบัดน้ำเสียโรงงานกลั่นน้ำมันโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำขังใต้ผิวดินในแนวนอน.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปรีชา มุณีศรี.2538. การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้จุลินทรีย์. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วรากร เกิดทรัพย์.2543. การใช้บึงประดิษฐ์เพื่อการบำบัดขั้นที่สามสำหรับน้ำชะมูลฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รัตนา ตรีรัตนภรณ์.2542. การกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียโดยใช้ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำขังใต้ดิน.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรัญ หันพงศ์กิตติกูล, พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และ กัลยา ศรีสุวรรณ.2539.แนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม. เสนอต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

ภาษาอังกฤษ

Ahmad,A.L., Ismail, S. and Bhatia,S. 2003. Water recycling from palm oil mill effluent (POME) using membrane technology. Desalination. 157:87-95.

Armstrong,W.1964. Oxygen diffusion from the roots of some British bog plants, Nature. 204 : 801-802

Borja,R., Bankb,C.J. and Sanchez,E. 1996. Anaerobic treatment of palm oil mill effluent in a two-stage up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) system. Journal of Biotechnology. 45 : 125-135.

Brix, H.1987. Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants – the root-zone method. Water Scince and Technology . 19 : 107.

Brix, H. 1993. Wastewater treatment in constructed wetland : System design, removal processes and Treatment performances. In G.A.Moshiri (ed), Constructed Wetland for Water Quality Improvement. Michigan : Lewis Publishers.

Chin,K.K., Lee, S.W. and Mohamad, H.H.1996. A study of palm oil mill effluent treatment using a pond system. Water scince and technology. 34 : 119-123.

Faisal, M. and Unno,H .2001. Kinetic analysis of palm oil mill wastewater treatment by a modified anaerobic baffled reactor. Biochemical Engineering Journal.9 :25-31.

Hammer, D.A. and Bastian, R.K., 1989. Wetlands ecosystem : natural purifier in Hammer, D.A, Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.

Karim, M.I.A. and Kamil, A.Q.A. 1989. Biological treatment of palm oil mill effluent using *Ttichoderma viride*. Biological Wastewater. 27 : 143-152.

Karathanasis,A.D., Potter, C.L. and Coyne, M.S. 2003. Vegetation effects on fecal bacteria, BOD and suspended solid removal in constructed wetlands treating domestic wastewater. Ecological Engineering. 20 : 157 – 169.

Kurniadie,D. and Kunze,C. 2000. Constructed wetlands to treat house wastewater in Bundung, Indonesia . Angewandte Botanik. 74 : 87 – 91.

Matcalf and Eddy. 1991. Wastewater engineering : treatment, disposal and reuse. 3 rd ed. New Yoek : McGraw – Hill.

Montori,P., et al . 2003. Application of a horizontal subsurface flow constructed wetland on treatment of dairy parlor wastewater. Bioresource Technology. 88 : 85-94.

Patruno,J., and Russell,J. 1944. Natural wetland polishing. Effluent Discharging to Wooloweyah lagoon. Water Scince and Technology. 20 : 185-192.

Reddy,K.R., and Debusk, W.F. 1987. Nutrient storage capabilities of aquatic and wetlands plants. In R.H. Kadlec, and R.L. Knight. Treatment Wetland. pp. 337-357. Michigan : Lewis Plublishers.

Reed,S.C., Middlebrooks. E.J., and Criles, R.W. 1988. Natural Systems for Waste Management and Treatment. 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 : 207-221

Stephen P,F. and Richardson, C,F.1989. Physical and chemical characteristics of freshwater wetland soil. In : Hammer , D, A, Constructed Wetlands for Wastewater Treatment : Municipal, Industrial and Agricultural. Michigan : Lewis Publishing. Inc ,41-72.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ค่าเฉลี่ยลักษณะน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบบำบัดบึงประดิษฐ์

วันเดือนปี	pH	T(°C)	colour (SU)	SS (mg/l)	BOD(mg/l)	COD(mg/l)	TKN(mg/l)	TP(mg/l)
15-พ.ค.-46	9.44	29.90	240.35	130.00	180.00	2319.20	61.60	13.80
22-พ.ค.-46	9.63	27.80	267.69	170.00	140.00	3336.80	67.20	10.50
3-มิ.ย.-46	9.25	27.50	185.21	220.00	120.00	3528.00	72.80	13.40
13-มิ.ย.-46	9.12	28.70	198.14	415.00	102.00	2816.00	78.80	14.10
24-มิ.ย.-46	9.28	24.70	183.84	480.00	110.00	3097.60	95.20	12.30
3-ก.ค.-46	9.20	26.40	165.54	567.50	234.00	3322.80	92.40	14.30
10-ก.ค.-46	9.16	27.80	158.55	392.50	96.00	3731.20	89.60	14.30
ค่าเฉลี่ย	9.30	27.54	199.90	339.29	140.29	3164.51	79.66	13.24
SD	0.18	1.65	40.00	166.90	50.19	474.08	13.11	1.40
ช่วง	9.12-9.63	24.7-29.9	158.55-267.69	130-567.5	96-234.0	2319.2-3731.2	61.6-95.2	10.5-14.3

ตารางที่ ก-2 ลักษณะของน้ำเสียที่ออกจากบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1

วันเดือนปี	วันที่	pH	T(°c)	Color (SU)	BOD (mg/l)	COD(mg/l)	TKN(mg/l)	TP(mg/l)
20/5/46	6	8.97	27.80	64.40	135.00	1241.60	47.60	8.40
25/5/46	11	9.19	27.30	79.58	72.00	1728.00	54.60	9.80
27/5/46	13	9.16	27.10	94.06	63.00	1512.00	50.40	9.20
1/6/46	18	9.09	27.50	106.19	84.00	1584.00	46.20	8.50
4/6/46	21	8.95	25.10	111.80	83.00	1368.00	50.40	11.50
7/6/46	25	8.87	25.40	117.50	54.00	1368.00	53.20	12.60
11/6/46	28	8.75	28.10	103.99	96.00	1408.00	53.20	11.30
15/6/46	32	8.60	27.70	99.13	99.00	1736.00	67.20	11.20
18/6/46	35	8.73	25.50	129.14	72.00	1795.20	54.60	9.70
21/6/46	38	9.00	28.50	95.98	46.00	1706.40	47.60	9.20
24/6/46	41	8.99	25.50	105.85	79.50	1769.60	63.00	11.40
29/6/46	46	8.96	26.80	100.29	57.00	1706.40	50.40	10.90
2/7/46	49	8.91	27.10	102.67	49.50	1548.80	49.00	10.60
5/7/46	52	8.84	25.40	109.82	30.00	1643.20	47.60	12.20
8/7/46	55	8.96	26.80	110.29	18.00	1643.20	54.60	10.10
13/7/46	60	8.79	28.80	101.74	56.30	1516.80	44.80	8.80
15/7/46	62	8.84	28.00	104.45	50.80	1453.60	51.10	12.60
ค่าเฉลี่ย		8.92	26.96	102.17	67.36	1572.28	52.09	10.47
SD		0.15	1.19	14.30	27.86	163.36	5.79	1.39

ตารางที่ ก-3 ลักษณะของน้ำเสียที่ออกจากบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 2

วันเดือนปี	วันที่	pH	T(°c)	Color (SU)	BOD (mg/l)	COD(mg/l)	TKN(mg/l)	TP(mg/l)
25/5/46	11	8.98	26.30	61.50	31.50	1504.00	30.80	6.70
30/5/46	16	8.89	26.00	63.39	57.00	1278.40	44.80	7.80
1/6/46	18	9.03	27.50	80.25	52.00	1476.00	44.80	7.00
6/6/46	23	8.91	28.00	80.90	74.00	1368.00	36.00	8.30
9/6/46	26	8.86	27.40	97.71	86.00	1512.00	50.40	8.10
13/6/46	30	8.89	26.50	92.17	51.00	1267.20	56.00	11.40
16/6/46	33	8.89	28.70	101.84	53.20	1337.60	53.20	8.70
20/6/46	37	8.74	27.30	95.75	77.40	1337.60	58.80	10.70
23/6/46	40	8.70	24.60	112.98	36.00	1619.20	51.80	10.10
26/6/46	43	8.87	27.00	95.31	20.00	1584.00	44.80	9.20
29/6/46	46	8.96	26.80	103.79	84.00	1478.40	50.40	10.80
4/7/46	51	8.94	27.40	99.75	54.00	1443.20	39.20	7.30
7/7/46	54	8.88	27.70	104.75	25.50	1516.80	37.80	7.50
10/7/46	57	8.94	27.60	97.82	24.75	1643.20	44.80	10.90
13/7/46	60	8.91	27.50	97.82	33.00	1309.40	39.20	9.80
18/7/46	65	8.71	27.40	100.43	59.20	1453.60	36.40	8.60
20/7/46	67	8.84	26.70	97.45	43.00	1584.00	40.00	8.40
ค่าเฉลี่ย		8.88	27.08	93.15	50.68	1453.68	44.66	8.90
SD		0.09	0.91	13.95	20.84	119.64	7.83	1.48

ตารางที่ ก-4 ลักษณะของน้ำเสียที่ออกจากบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 3

วันเดือนปี	วันที่	pH	T(°c)	Color (SU)	BOD (mg/l)	COD(mg/l)	TKN(mg/l)	TP(mg/l)
30/5/46	16	9.02	26.50	94.10	54.00	1308.00	50.40	9.30
4/6/46	21	9.02	26.60	103.40	39.00	1008.00	28.00	7.10
6/6/46	23	8.94	27.80	97.11	18.00	1278.40	36.40	7.60
11/6/46	28	8.84	28.00	91.65	62.00	1337.60	36.40	7.10
14/6/46	31	8.84	26.80	93.37	52.00	1372.80	39.20	8.40
18/6/46	35	8.79	27.70	88.23	48.00	1337.60	50.40	9.60
21/6/46	38	8.79	26.60	90.62	48.00	1196.80	58.80	10.40
25/6/46	42	8.63	26.20	73.70	69.00	1267.20	47.60	8.80
28/6/46	45	8.80	28.30	87.94	45.00	844.80	33.40	8.40
1/7/46	48	8.88	27.80	65.55	10.50	1393.90	40.60	8.90
4/7/46	51	9.02	25.50	53.72	33.00	1327.20	39.20	7.10
9/7/46	56	8.84	25.90	80.41	53.20	1309.40	36.40	6.80
12/7/46	59	8.84	30.50	81.65	9.00	1327.20	36.40	7.50
15/7/46	62	8.79	28.20	82.50	22.00	1327.20	33.60	7.80
18/7/46	65	8.70	27.00	41.41	29.40	1253.10	39.20	9.30
23/7/46	70	8.81	25.50	60.12	46.00	1161.60	26.00	8.20
25/7/46	72	8.74	27.00	77.41	20.25	1372.80	32.00	8.30
ค่าเฉลี่ย		8.84	27.17	80.17	38.73	1260.21	39.06	8.27
SD		0.11	1.24	16.65	18.01	142.24	8.50	1.02

ตารางที่ ก-5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์

ตัวอย่าง	วันเดือนปี	pH	T(C)	colour (SU)	SS (mg/l)	BOD(mg/l)	COD(mg/l)	TKN(mg/l)	TP(mg/l)
ครั้งที่ 1 น้ำเข้า	15-พ.ค.-46	9.44	29.9	240.35	130.0	180.0	2319.2	61.6	13.8
น้ำออกบ่อ 1	20-พ.ค.-46	8.97	27.8	64.40	17.0	135.0	1241.6	47.6	8.4
น้ำออกบ่อ 2	25-พ.ค.-46	9.98	26.3	61.50	9.3	31.5	1504.0	30.8	6.7
น้ำออกบ่อ 3	30-พ.ค.-46	9.02	26.5	94.10	22.0	54.0	1308.0	50.4	9.3
ครั้งที่ 2 น้ำเข้า	20-พ.ค.-46	9.40	26.9	252.71	170.0	180.0	3414.4	78.4	11.2
น้ำออกบ่อ 1	25-พ.ค.-46	9.19	27.3	79.58	18.0	72.0	1728.0	54.6	9.8
น้ำออกบ่อ 2	30-พ.ค.-46	9.89	26.0	63.39	12.0	57.0	1278.4	44.8	7.8
น้ำออกบ่อ 3	4-มิ.ย.-46	9.02	26.6	103.40	13.0	39.0	1008.0	28.0	7.1
ครั้งที่ 3 น้ำเข้า	22-พ.ค.-46	9.63	27.8	267.69	170.0	140.0	3336.8	67.2	10.5
น้ำออกบ่อ 1	27-พ.ค.-46	9.16	27.1	94.06	25.0	63.0	1512.0	50.4	9.2
น้ำออกบ่อ 2	1-มิ.ย.-46	9.03	27.5	80.25	18.0	52.0	1476.0	44.8	7
น้ำออกบ่อ 3	6-มิ.ย.-46	8.94	27.8	97.11	17.0	18.0	1278.4	36.4	7.6
ครั้งที่ 4 น้ำเข้า	27-พ.ค.-46	9.26	26.4	244.64	528.7	262.5	2556.8	95.2	14.4
น้ำออกบ่อ 1	1-มิ.ย.-46	9.09	27.5	106.19	31.0	84.0	1584.0	46.2	8.5
น้ำออกบ่อ 2	6-มิ.ย.-46	8.91	28.0	80.90	30.0	74.0	1368.0	36.0	7.3
น้ำออกบ่อ 3	11-มิ.ย.-46	8.84	28.0	91.65	15.0	62.0	1337.6	36.4	7.1
ครั้งที่ 5 น้ำเข้า	30-พ.ค.-46	9.24	26.6	239.75	320.0	258.0	3168.0	84.0	13.6
น้ำออกบ่อ 1	4-มิ.ย.-46	8.95	25.1	111.80	29.0	83.0	1368.0	50.4	11.5
น้ำออกบ่อ 2	9-มิ.ย.-46	8.86	27.4	97.71	27.0	86.0	1512.0	50.4	10.9
น้ำออกบ่อ 3	14-มิ.ย.-46	8.84	26.8	93.37	20.0	52.0	1372.8	39.2	10.9
ครั้งที่ 6 น้ำเข้า	3-มิ.ย.-46	9.25	27.5	185.21	220.0	120.0	3528.0	72.8	13.4
น้ำออกบ่อ 1	7-มิ.ย.-46	8.87	25.4	117.50	38.0	54.0	1368.0	53.2	12.6
น้ำออกบ่อ 2	13-มิ.ย.-46	8.89	26.5	92.17	27.0	51.0	1267.2	56.0	11.4
น้ำออกบ่อ 3	18-มิ.ย.-46	8.79	27.7	88.23	14.0	48.0	1337.6	50.4	9.6
ครั้งที่ 7 น้ำเข้า	6-มิ.ย.-46	9.31	28.2	360.38	150.0	144.0	3600.0	96.4	14.6
น้ำออกบ่อ 1	11-มิ.ย.-46	8.75	28.1	103.99	52.0	96.0	1408.0	53.2	11.3
น้ำออกบ่อ 2	16-มิ.ย.-46	8.89	28.7	101.84	31.0	53.2	1337.6	53.2	10.8
น้ำออกบ่อ 3	21-มิ.ย.-46	8.79	26.6	90.62	15.0	48.0	1196.8	58.8	10.4

ตัวอย่าง	วันเดือนปี	pH	T(C)	colour (SU)	SS (mg/l)	BOD(mg/l)	COD(mg/l)	TKN(mg/l)	TP(mg/l)
ครั้งที่ 8 น้ำเข้า	10-มิ.ย.-46	9.23	28.1	384.17	990.0	225.0	2393.6	72.8	13.9
น้ำออกบ่อ 1	15-มิ.ย.-46	8.60	27.7	99.13	45.0	99.0	1736.0	67.2	11.2
น้ำออกบ่อ 2	20-มิ.ย.-46	8.74	27.3	95.75	54.0	77.4	1337.6	58.8	10.7
น้ำออกบ่อ 3	25-มิ.ย.-46	8.63	26.2	73.70	42.0	69.0	1267.2	47.6	8.8
ครั้งที่ 9 น้ำเข้า	13-มิ.ย.-46	9.12	28.7	198.14	415.0	102.0	2816.0	78.8	14.1
น้ำออกบ่อ 1	18-มิ.ย.-46	8.73	25.5	129.14	52.0	72.0	1795.2	54.6	7.7
น้ำออกบ่อ 2	23-มิ.ย.-46	8.70	24.6	128.96	55.0	36.0	1619.2	51.8	10.1
น้ำออกบ่อ 3	28-มิ.ย.-46	8.80	28.3	87.94	43.0	45.0	844.8	33.4	8.4
ครั้งที่10 น้ำเข้า	16-มิ.ย.-46	9.22	26.0	203.67	336.6	124.0	2956.8	280.0	16.3
น้ำออกบ่อ 1	21-มิ.ย.-46	9.00	28.5	95.98	83.0	46.0	1706.4	47.6	9.2
น้ำออกบ่อ 2	26-มิ.ย.-46	8.87	27.0	95.31	46.0	20.0	1584.0	44.8	9.2
น้ำออกบ่อ 3	1-ก.ค.-46	8.88	27.8	65.55	31.0	10.5	1393.9	40.6	8.9
ครั้งที่11 น้ำเข้า	19-มิ.ย.-46	9.20	25.7	173.03	320.0	144.0	3379.2	117.6	14.8
น้ำออกบ่อ 1	24-มิ.ย.-46	8.99	25.5	105.85	72.0	79.5	1769.6	63.0	11.4
น้ำออกบ่อ 2	29-มิ.ย.-46	8.96	26.8	103.79	44.0	84.0	1478.4	50.4	10.8
น้ำออกบ่อ 3	4-ก.ค.-46	9.02	25.5	53.72	30.0	33.0	1327.2	39.2	7.1
ครั้งที่12 น้ำเข้า	24-มิ.ย.-46	9.28	24.7	183.84	480.0	110.0	3097.6	95.2	12.3
น้ำออกบ่อ 1	29-มิ.ย.-46	8.96	26.8	100.29	63.0	57.0	1706.4	50.4	10.9
น้ำออกบ่อ 2	4-ก.ค.-46	8.94	27.4	99.75	55.0	54.0	1443.2	39.2	7.3
น้ำออกบ่อ 3	9-ก.ค.-46	8.84	25.9	80.41	53.0	53.2	1309.4	36.4	6.8
ครั้งที่13 น้ำเข้า	27-มิ.ย.-46	9.24	25.7	179.81	225.0	96.0	3660.8	98.0	12.7
น้ำออกบ่อ 1	2-ก.ค.-46	8.91	27.1	102.67	64.0	49.5	1548.8	49.0	10.6
น้ำออกบ่อ 2	7-ก.ค.-46	8.88	27.7	104.75	51.0	25.5	1516.8	37.8	7.5
น้ำออกบ่อ 3	12-ก.ค.-46	8.84	30.5	81.65	35.0	9.0	1327.2	36.4	7.5
ครั้งที่14 น้ำเข้า	30-มิ.ย.-46	9.19	28.6	178.90	1015.0	90.0	2534.4	100.8	14.8
น้ำออกบ่อ 1	5-ก.ค.-46	8.84	25.4	109.82	63.0	30.0	1643.2	47.6	12.2
น้ำออกบ่อ 2	10-ก.ค.-46	8.94	27.6	97.82	58.0	24.8	1643.2	44.8	10.9
น้ำออกบ่อ 3	15-ก.ค.-46	8.79	28.2	82.50	39.0	22.0	1327.2	33.6	7.8
ครั้งที่15 น้ำเข้า	3-ก.ค.-46	9.20	26.4	165.54	567.5	234.0	3322.8	92.4	14.3
น้ำออกบ่อ 1	8-ก.ค.-46	8.96	26.8	110.29	61.0	18.0	1643.2	54.6	10.1
น้ำออกบ่อ 2	13-ก.ค.-46	8.91	27.5	97.82	50.0	33.0	1309.4	39.2	9.8
น้ำออกบ่อ 3	18-ก.ค.-46	8.70	27.0	41.41	31.0	29.4	1253.1	39.2	9.3

ตัวอย่าง	วันเดือนปี	pH	T(C)	colour (SU)	SS (mg/l)	BOD(mg/l)	COD(mg/l)	TKN(mg/l)	TP(mg/l)
ครั้งที่16 น้ำเข้า	8-ก.ค.-46	9.25	26.3	119.04	150.0	126.0	3801.6	103.6	14.6
น้ำออกบ่อ 1	13-ก.ค.-46	8.79	28.8	101.74	62.0	56.3	1516.8	44.8	8.8
น้ำออกบ่อ 2	18-ก.ค.-46	8.71	27.4	100.43	58.0	59.2	1453.6	36.4	7.5
น้ำออกบ่อ 3	23-ก.ค.-46	8.81	25.5	60.12	46.0	46.0	1161.6	26.0	7
ครั้งที่17 น้ำเข้า	10-ก.ค.-46	9.16	27.8	158.55	392.5	96.0	3731.2	89.6	14.3
น้ำออกบ่อ 1	15-ก.ค.-46	8.84	28.0	104.45	57.0	50.8	1453.6	51.1	12.6
น้ำออกบ่อ 2	20-ก.ค.-46	8.84	26.7	97.45	46.0	43.0	1584.0	40.0	8.4
น้ำออกบ่อ 3	25-ก.ค.-46	8.74	27.0	77.41	37.0	20.6	1372.8	32.0	8.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-6 ประสิทธิภาพการลดลงของค่า pH

ครั้งที่	pH				% pH removal		
	น้ำเข้า	น้ำออกบ่อ 1	น้ำออกบ่อ 2	น้ำออกบ่อ 3	บ่อ 1	บ่อ 2	บ่อ 3
1	9.44	8.97	8.98	9.02	4.98	4.87	4.45
2	9.40	9.19	8.89	9.02	2.23	5.43	4.04
3	9.63	9.16	9.03	8.94	4.88	6.23	7.17
4	9.26	9.09	8.91	8.84	1.84	3.78	4.54
5	9.24	8.95	8.86	8.84	3.14	4.11	4.33
6	9.25	8.87	8.89	8.79	4.11	3.89	4.97
7	9.31	8.75	8.89	8.79	6.02	4.51	5.59
8	9.23	8.60	8.74	8.63	6.83	5.31	6.50
9	9.12	8.73	8.70	8.80	4.28	4.61	3.51
10	9.22	9.00	8.87	8.88	2.39	3.80	3.69
11	9.20	8.99	8.96	9.02	2.28	2.61	1.96
12	9.28	8.96	8.94	8.84	3.45	3.66	4.74
13	9.24	8.91	8.88	8.84	3.57	3.90	4.33
14	9.19	8.84	8.94	8.79	3.81	2.72	4.35
15	9.20	8.96	8.91	8.70	2.61	3.15	5.43
16	9.25	8.79	8.71	8.81	4.97	5.84	4.76
17	9.16	8.84	8.84	8.74	3.49	3.49	4.59
ค่าเฉลี่ย	9.27	8.92	8.88	8.84	3.82	4.23	4.64
SD	0.12	0.15	0.09	0.11	1.39	1.04	1.16

หมายเหตุ

บ่อที่ 1 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.26 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน

บ่อที่ 2 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.13 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน

บ่อที่ 3 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.086 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 15 วัน

ตารางที่ ก-7 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของบึงประดิษฐ์

ครั้งที่	color				% color removal		
	น้ำเข้า	น้ำออกบ่อ 1	น้ำออกบ่อ 2	น้ำออกบ่อ 3	บ่อ 1	บ่อ 2	บ่อ 3
1	240.35	64.40	61.50	94.10	73.21	74.41	60.85
2	252.71	79.58	63.39	103.40	68.51	74.92	59.08
3	267.69	94.06	80.25	97.11	64.86	70.02	63.72
4	244.64	106.19	80.90	91.65	56.59	66.93	62.54
5	239.75	111.80	97.71	93.37	53.37	59.24	61.05
6	185.21	117.50	92.17	88.23	36.56	50.23	52.36
7	360.84	103.99	101.84	90.62	71.18	71.78	74.89
8	384.17	99.13	95.75	73.70	74.20	75.08	80.82
9	198.14	129.14	112.98	87.94	34.82	42.98	55.62
10	203.67	95.98	95.31	65.55	52.88	53.20	67.82
11	173.03	105.85	103.79	53.72	38.82	40.02	68.95
12	183.84	100.29	99.75	80.41	45.45	45.74	56.26
13	179.81	102.67	104.75	81.65	42.90	41.74	54.59
14	178.90	109.82	97.82	82.50	38.61	45.32	53.88
15	165.54	110.29	97.82	41.41	33.37	40.91	74.99
16	119.04	101.74	100.43	60.12	14.53	15.63	49.50
17	158.55	104.45	97.45	77.41	34.12	38.54	51.18
ค่าเฉลี่ย	219.76	102.17	93.15	80.17	49.06	53.33	61.65
SD	69.48	14.30	13.95	16.65	17.15	16.89	9.16

หมายเหตุ

บ่อที่ 1 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.26 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน

บ่อที่ 2 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.13 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน

บ่อที่ 3 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.086 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 15 วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-8 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของบึงประดิษฐ์

ครั้งที่	SS (mg/l)				% SS removal		
	น้ำเข้า	น้ำออกบ่อ 1	น้ำออกบ่อ 2	น้ำออกบ่อ 3	บ่อ 1	บ่อ 2	บ่อ 3
1	130.00	17.00	9.33	22.00	86.92	92.82	83.08
2	170.00	18.00	12.00	13.00	89.41	92.94	92.35
3	170.00	25.00	18.00	17.00	85.29	89.41	90.00
4	528.70	31.00	30.00	22.00	94.14	94.33	95.84
5	320.00	29.00	27.00	20.00	90.94	91.56	93.75
6	220.00	38.00	27.00	14.00	82.73	87.73	93.64
7	150.00	52.00	29.00	15.00	65.33	80.67	90.00
8	990.00	45.00	54.00	53.00	95.45	94.55	94.65
9	415.00	52.00	55.00	43.00	87.47	86.75	89.64
10	336.60	83.00	46.00	31.00	75.34	86.33	90.79
11	320.00	72.00	44.00	37.00	77.50	86.25	88.44
12	480.00	63.00	55.00	42.00	86.88	88.54	91.25
13	225.00	64.00	51.00	35.00	71.56	77.33	84.44
14	1015.00	63.00	58.00	39.00	93.79	94.29	96.16
15	567.50	61.00	50.00	31.00	89.25	91.19	94.54
16	150.00	62.00	55.00	34.00	58.67	63.33	77.33
17	392.50	57.00	46.00	30.00	85.48	88.28	92.36
ค่าเฉลี่ย	387.08	48.94	39.20	29.29	83.30	87.43	90.49
SD	269.06	19.56	16.32	11.66	10.38	7.80	4.95

หมายเหตุ

บ่อที่ 1 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.26 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน

บ่อที่ 2 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.13 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน

บ่อที่ 3 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.086 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 15 วัน

ตารางที่ ก-9 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของบึงประดิษฐ์

ครั้งที่	BOD (mg/l)				% BOD removal		
	น้ำเข้า	น้ำออกบ่อ 1	น้ำออกบ่อ 2	น้ำออกบ่อ 3	บ่อ 1	บ่อ 2	บ่อ 3
1	180.00	135.00	31.50	54.00	25.00	82.50	70.00
2	180.00	72.00	57.00	39.00	60.00	68.33	78.33
3	140.00	63.00	52.00	18.00	55.00	62.86	87.14
4	262.50	84.00	74.00	62.00	68.00	71.81	76.38
5	258.00	83.00	86.00	52.00	67.83	66.67	79.84
6	120.00	54.00	51.00	48.00	55.00	57.50	60.00
7	144.00	96.00	53.20	48.00	33.33	63.06	66.67
8	225.00	99.00	77.40	69.00	56.00	65.60	69.33
9	102.00	72.00	36.00	45.00	29.41	64.71	55.88
10	124.00	46.00	20.00	10.50	62.90	83.87	91.53
11	144.00	79.50	84.00	33.00	44.79	41.67	77.08
12	110.00	57.00	54.00	53.20	48.18	50.91	51.64
13	96.00	49.50	25.50	9.00	48.44	73.44	90.63
14	90.00	30.00	24.75	22.00	66.67	72.50	75.56
15	234.00	18.00	33.00	29.40	92.31	85.90	87.44
16	126.00	56.30	59.20	46.00	55.32	53.02	63.49
17	96.00	50.80	43.00	20.25	47.08	55.21	78.91
ค่าเฉลี่ย	154.79	67.36	50.68	38.73	53.84	65.85	74.11
SD	58.13	27.86	20.84	18.01	16.22	12.05	11.88

หมายเหตุ

บ่อที่ 1 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.26 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน

บ่อที่ 2 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.13 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน

บ่อที่ 3 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.086 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 15 วัน

ตารางที่ ก-10 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของบึงประดิษฐ์

ครั้งที่	COD (mg/l)				% COD removal		
	น้ำเข้า	น้ำออกบ่อ 1	น้ำออกบ่อ 2	น้ำออกบ่อ 3	บ่อ 1	บ่อ 2	บ่อ 3
1	2319.20	1241.60	1504.00	1308.00	46.46	35.15	43.60
2	3414.40	1728.00	1278.40	1008.00	49.39	62.56	70.48
3	3336.80	1512.00	1476.00	1278.40	54.69	55.77	61.69
4	2556.80	1584.00	1368.00	1337.60	38.05	46.50	47.68
5	3168.00	1368.00	1512.00	1372.80	56.82	52.27	56.67
6	3528.00	1368.00	1267.20	1337.60	61.22	64.08	62.09
7	3600.00	1408.00	1337.60	1196.80	60.89	62.84	66.76
8	2393.60	1736.00	1337.60	1267.20	27.47	44.12	47.06
9	2816.00	1795.20	1619.20	844.80	36.25	42.50	70.00
10	2956.80	1706.40	1584.00	1393.90	42.29	46.43	52.86
11	3379.20	1769.60	1478.40	1327.20	47.63	56.25	60.72
12	3097.60	1706.40	1443.20	1309.40	44.91	53.41	57.73
13	3660.80	1548.80	1516.80	1327.20	57.69	58.57	63.75
14	2534.40	1643.20	1643.20	1327.20	35.16	35.16	47.63
15	3322.80	1643.20	1309.40	1253.10	50.55	60.59	62.29
16	3801.60	1516.80	1453.60	1161.60	60.10	61.76	69.44
17	3731.20	1453.60	1584.00	1372.80	61.04	57.55	63.21
ค่าเฉลี่ย	3153.95	1572.28	1453.68	1260.21	48.86	52.68	59.04
SD	480.94	163.36	119.64	142.24	10.42	9.44	8.57

หมายเหตุ

บ่อที่ 1 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.26 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน

บ่อที่ 2 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.13 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน

บ่อที่ 3 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.086 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 15 วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-11 ประสิทธิภาพการกำจัดทีแคเอ็นของบึงประดิษฐ์

ครั้งที่	TKN (mg/l)				% TKN removal		
	น้ำเข้า	น้ำออกบ่อ 1	น้ำออกบ่อ 2	น้ำออกบ่อ 3	บ่อ 1	บ่อ 2	บ่อ 3
1	61.60	47.60	30.80	50.40	22.73	50.00	18.18
2	78.40	54.60	44.80	28.00	30.36	42.86	64.29
3	67.20	50.40	44.80	36.40	25.00	33.33	45.83
4	95.20	46.20	36.00	36.40	51.47	62.18	61.76
5	84.00	50.40	50.40	39.20	40.00	40.00	53.33
6	72.80	53.20	56.00	50.40	26.92	23.08	30.77
7	96.40	53.20	53.20	58.80	44.81	44.81	39.00
8	72.80	67.20	58.80	47.60	7.69	19.23	34.62
9	78.80	54.60	51.80	33.40	30.71	34.26	57.61
10	114.80	47.60	44.80	40.60	58.54	60.98	64.63
11	117.60	63.00	50.40	39.20	46.43	57.14	66.67
12	95.20	50.40	39.20	36.40	47.06	58.82	61.76
13	98.00	49.00	37.80	36.40	50.00	61.43	62.86
14	100.80	47.60	44.80	33.60	52.78	55.56	66.67
15	92.40	54.60	39.20	39.20	40.91	57.58	57.58
16	103.60	44.80	36.40	26.00	56.76	64.86	74.90
17	89.60	51.10	40.00	32.00	42.97	55.36	64.29
ค่าเฉลี่ย	89.36	52.09	44.66	39.06	39.71	48.32	54.40
SD	15.91	5.79	7.83	8.50	13.83	14.13	15.40

หมายเหตุ

บ่อที่ 1 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.26 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน

บ่อที่ 2 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.13 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน

บ่อที่ 3 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.086 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 15 วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-12 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของบึงประดิษฐ์

ครั้งที่	TP (mg/l)				% TP removal		
	น้ำเข้า	น้ำออกบ่อ 1	น้ำออกบ่อ 2	น้ำออกบ่อ 3	บ่อ 1	บ่อ 2	บ่อ 3
1	13.80	8.40	6.70	9.30	39.13	51.45	32.61
2	11.20	9.80	7.80	7.10	12.50	30.36	36.61
3	10.50	9.20	7.00	7.60	12.38	33.33	27.62
4	14.40	8.50	8.30	7.10	40.97	42.36	50.69
5	13.60	11.50	8.10	8.40	15.44	40.44	38.24
6	13.40	12.60	11.40	9.60	5.97	14.93	28.36
7	14.60	11.30	8.70	10.40	22.60	40.41	28.77
8	13.90	11.20	10.70	8.80	19.42	23.02	36.69
9	14.10	9.70	10.10	8.40	31.21	28.37	40.43
10	16.30	9.20	9.20	8.90	43.56	43.56	45.40
11	14.80	11.40	10.80	7.10	22.97	27.03	52.03
12	12.30	10.90	7.30	6.80	11.38	40.65	44.72
13	12.70	10.60	7.50	7.50	16.54	40.94	40.94
14	14.80	12.20	10.90	7.80	17.57	26.35	47.30
15	14.30	10.10	9.80	9.30	29.37	31.47	34.97
16	14.60	8.80	8.60	8.20	39.73	41.10	43.84
17	14.30	12.60	8.40	8.30	11.89	41.26	41.96
ค่าเฉลี่ย	13.74	10.47	8.90	8.27	23.10	35.12	39.48
SD	1.41	1.39	1.48	1.02	12.01	9.24	7.50

หมายเหตุ

บ่อที่ 1 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.26 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน

บ่อที่ 2 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.13 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน

บ่อที่ 3 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าบึงประดิษฐ์เท่ากับ 0.086 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 15 วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-13 ลักษณะน้ำเสียในจุดเก็บตัวอย่างของบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1

วันที่	พารามิเตอร์ / จุดเก็บตัวอย่าง	pH	T (c)	Color (SU)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	TKN (mg/l)	TP (mg/l)
30 พค 46	น้ำเข้า	9.24	26.60	239.75	320.00	258.00	3168.00	64.00	13.6
	จุดที่ 2	8.61	29.10	159.16	42.80	18.00	1152.00	32.00	11.5
	จุดที่ 3	8.29	27.00	141.24	28.50	53.20	1296.00	39.20	11.6
	น้ำออก	8.95	25.10	111.80	29.00	83.00	1368.00	50.40	11.5
13 มิย 46	น้ำเข้า	9.12	28.70	198.14	415.00	102.00	2816.00	78.80	14.1
	จุดที่ 2	9.08	29.00	114.51	36.00	98.10	1548.80	67.20	11.9
	จุดที่ 3	8.94	28.30	116.32	32.00	74.00	1443.20	61.60	11.6
	น้ำออก	8.73	25.50	129.14	52.00	72.00	1795.20	54.60	9.7
27 มิย 46	น้ำเข้า	9.24	25.70	179.81	225.00	96.00	3660.80	98.00	12.7
	จุดที่ 2	8.76	26.60	128.51	93.00	102.00	1911.20	75.60	12.8
	จุดที่ 3	8.69	27.20	120.88	70.00	72.00	1830.40	61.60	11.5
	น้ำออก	8.91	27.10	102.67	64.00	49.50	1548.80	49.00	10.6
10 กค 46	น้ำเข้า	9.16	27.80	158.55	392.50	96.00	3731.20	89.60	14.3
	จุดที่ 2	8.94	27.10	128.95	86.00	75.00	1689.60	67.20	11.6
	จุดที่ 3	8.87	26.80	132.31	72.00	69.00	1619.20	53.20	10.2
	น้ำออก	8.84	28.00	104.45	57.00	50.80	1453.60	51.10	12.6
เฉลี่ย	น้ำเข้า	9.19	27.20	194.06	338.13	138.00	3344.00	82.60	13.68
	จุดที่ 2	8.85	27.95	132.78	64.45	73.28	1575.40	60.50	11.95
	จุดที่ 3	8.70	27.33	127.69	50.63	67.05	1547.20	53.90	11.23
	น้ำออก	8.86	26.43	112.02	50.50	63.83	1541.40	51.28	11.10

ตารางที่ ก-14 ประสิทธิภาพการกำจัดที่ระยะทางต่าง ๆ ของบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 1

วันที่	พารามิเตอร์ / จุดเก็บตัวอย่าง	% Removal							
		pH	T (c)	Color	SS	BOD	COD	TKN	TP
30 พค 46	น้ำเข้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	จุดที่ 2	6.82	-9.40	33.61	86.63	93.02	63.64	50.00	15.44
	จุดที่ 3	10.28	-1.50	41.09	91.09	79.38	59.09	38.75	14.71
	น้ำออก	3.14	5.64	53.37	90.94	67.83	56.82	21.25	15.44
13 มิย 46	น้ำเข้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	จุดที่ 2	0.44	-1.05	42.21	91.33	3.82	45.00	14.72	15.60
	จุดที่ 3	1.97	1.39	41.29	92.29	27.45	48.75	21.83	17.73
	น้ำออก	4.28	11.15	34.82	87.47	29.41	36.25	30.71	31.21
27 มิย 46	น้ำเข้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	จุดที่ 2	5.19	-3.50	28.53	58.67	-6.25	47.79	22.86	-0.79
	จุดที่ 3	5.95	-5.84	32.77	68.89	25.00	50.00	37.14	9.45
	น้ำออก	3.57	-5.45	42.90	71.56	48.44	57.69	50.00	16.54
10 กค 46	น้ำเข้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	จุดที่ 2	2.40	2.52	18.67	78.09	21.88	54.72	25.00	18.88
	จุดที่ 3	3.17	3.60	16.55	81.66	28.13	56.60	40.63	28.67
	น้ำออก	3.49	-0.72	34.12	85.48	47.08	61.04	42.97	11.89
เฉลี่ย	น้ำเข้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	จุดที่ 2	3.73	-2.76	31.58	80.94	46.90	52.89	26.76	12.61
	จุดที่ 3	5.36	-0.46	34.20	85.03	51.41	53.73	34.75	17.92
	น้ำออก	3.62	2.85	42.28	85.06	53.75	53.91	37.92	18.83

ตารางที่ ก-15 ลักษณะน้ำเสียในจุดเก็บตัวอย่างของบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 2

วันที่	พารามิเตอร์ / จุดเก็บตัวอย่าง	pH	T (°c)	Color (SU)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	TKN (mg/l)	TP (mg/l)
30 พค 46	น้ำเข้า	9.24	26.60	239.75	320.00	258.00	3168.00	64.00	13.60
	จุดที่ 2	8.90	29.00	127.05	41.40	51.00	1512.00	44.80	8.80
	จุดที่ 3	8.77	29.00	119.04	37.00	72.00	1728.00	46.20	7.30
	น้ำออก	8.86	27.40	97.71	27.00	86.00	1512.00	50.40	10.90
13 มิย 46	น้ำเข้า	9.12	28.70	198.14	415.00	102.00	2816.00	78.80	14.10
	จุดที่ 2	9.01	26.20	174.48	65.00	72.40	1830.40	67.20	11.40
	จุดที่ 3	9.03	29.50	159.35	49.00	43.50	1548.80	54.60	9.60
	น้ำออก	8.70	24.60	128.96	55.00	36.00	1619.20	37.80	10.10
27 มิย 46	น้ำเข้า	9.24	25.70	179.81	225.00	96.00	3660.80	98.00	12.70
	จุดที่ 2	8.61	25.60	171.77	67.00	72.00	1767.04	56.00	11.90
	จุดที่ 3	8.66	26.60	128.52	49.00	54.00	1626.24	44.80	9.70
	น้ำออก	8.88	27.70	104.75	51.00	25.50	1516.80	37.80	7.50
10 กค 46	น้ำเข้า	9.16	27.80	158.55	392.50	96.00	3731.20	89.60	14.30
	จุดที่ 2	8.92	27.30	71.13	83.00	45.00	1760.00	58.80	13.20
	จุดที่ 3	8.88	27.50	75.21	52.00	39.00	1724.80	47.60	10.50
	น้ำออก	8.84	26.90	97.45	46.00	43.00	1584.00	40.00	8.40
เฉลี่ย	น้ำเข้า	9.19	27.20	194.06	338.13	138.00	3344.00	82.60	13.68
	จุดที่ 2	8.86	27.03	136.11	64.10	60.10	1717.36	56.70	11.33
	จุดที่ 3	8.84	28.15	120.53	46.75	52.13	1656.96	48.30	9.28
	น้ำออก	8.82	26.65	107.22	44.75	47.63	1558.00	41.50	9.23

ตารางที่ ก-16 ประสิทธิภาพการกำจัดที่ระยะทางต่าง ๆ ของบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 2

วันที่	พารามิเตอร์ / จุดเก็บตัวอย่าง	% Removal							
		pH	T	Color	SS	BOD	COD	TKN	TP
30 พค 46	น้ำเข้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	จุดที่ 2	3.68	-9.02	47.01	87.06	80.23	52.27	30.00	35.29
	จุดที่ 3	5.09	-9.02	50.35	88.44	72.09	45.45	27.81	46.32
	น้ำออก	4.11	-3.01	59.25	91.56	66.67	52.27	21.25	19.85
13 มิย 46	น้ำเข้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	จุดที่ 2	1.21	8.71	11.94	84.34	29.02	35.00	14.72	19.15
	จุดที่ 3	0.99	-2.79	19.58	88.19	57.35	45.00	30.71	31.91
	น้ำออก	4.61	14.29	34.91	86.75	64.71	42.50	52.03	28.37
27 มิย 46	น้ำเข้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	จุดที่ 2	6.82	0.39	4.47	70.22	25.00	51.73	42.86	6.30
	จุดที่ 3	6.28	-3.50	28.52	78.22	43.75	55.58	54.29	23.62
	น้ำออก	3.90	-7.78	41.74	77.33	73.44	58.57	61.43	40.94
10 กค 46	น้ำเข้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	จุดที่ 2	2.62	1.80	55.14	78.85	53.13	52.83	34.38	7.69
	จุดที่ 3	3.06	1.08	52.57	86.75	59.38	53.77	46.88	26.57
	น้ำออก	3.49	3.24	38.54	88.28	55.21	57.55	55.36	41.26
เฉลี่ย	น้ำเข้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	จุดที่ 2	3.59	0.64	29.86	81.04	56.45	48.64	31.36	17.18
	จุดที่ 3	3.86	-3.49	37.89	86.17	62.23	50.45	41.53	32.18
	น้ำออก	4.03	2.02	44.75	86.77	65.49	53.41	49.76	32.54

ตารางที่ ก-17 ลักษณะน้ำเสียในจุดเก็บตัวอย่างของบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 3

วันที่	พารามิเตอร์ / จุดเก็บตัวอย่าง	pH	T (°c)	Color (SU)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	TKN (mg/l)	TP (mg/l)
30 พค 46	น้ำเข้า	9.24	26.60	239.75	320.00	258.00	3168.00	64.00	13.60
	จุดที่ 2	8.80	29.20	119.34	28.50	27.00	1152.00	54.60	11.70
	จุดที่ 3	8.85	28.50	84.70	24.20	30.00	1440.00	49.00	9.60
	น้ำออก	8.84	26.80	93.37	20.00	52.00	1372.80	39.20	10.90
13 มิย 46	น้ำเข้า	9.12	28.70	198.14	415.00	102.00	2816.00	78.80	14.10
	จุดที่ 2	9.17	27.70	106.23	53.00	84.00	1337.60	40.00	11.20
	จุดที่ 3	8.99	27.60	85.68	47.50	62.00	1267.20	36.00	8.30
	น้ำออก	8.80	28.30	87.94	43.00	45.00	844.80	33.40	8.40
27 มิย 46	น้ำเข้า	9.24	25.70	179.81	225.00	96.00	3660.80	98.00	12.70
	จุดที่ 2	8.84	27.60	112.78	43.00	36.00	1408.00	54.60	11.30
	จุดที่ 3	8.78	27.40	106.50	38.50	30.00	1126.40	25.20	9.10
	น้ำออก	8.84	30.50	81.65	35.00	9.00	1327.20	36.40	7.50
10 กค 46	น้ำเข้า	9.16	27.80	158.55	392.50	96.00	3731.20	89.60	14.30
	จุดที่ 2	8.87	27.00	101.95	71.00	43.50	1548.80	68.60	10.70
	จุดที่ 3	8.77	26.70	98.34	48.00	33.00	1478.40	39.20	9.30
	น้ำออก	8.74	29.00	77.41	37.00	20.25	1372.80	32.00	8.30
เฉลี่ย	น้ำเข้า	9.19	27.20	194.06	338.13	138.00	3344.00	82.60	13.68
	จุดที่ 2	8.92	27.88	110.07	48.88	47.63	1361.60	54.45	11.23
	จุดที่ 3	8.85	27.55	93.81	39.55	38.75	1328.00	37.35	9.08
	น้ำออก	8.81	28.65	85.09	33.75	31.56	1229.40	35.25	8.78

ตารางที่ ก-18 ประสิทธิภาพการกำจัดที่ระยะทางต่าง ๆ ของบึงประดิษฐ์ บ่อที่ 3

วันที่	พารามิเตอร์ / จุดเก็บตัวอย่าง	% Removal							
		pH	T (c)	Color	SS	BOD	COD	TKN	TP
30 พค 46	น้ำเข้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	จุดที่ 2	4.76	-9.77	50.22	91.09	89.53	63.64	14.69	13.97
	จุดที่ 3	4.22	-7.14	64.67	92.44	88.37	54.55	23.44	29.41
	น้ำออก	4.33	-0.75	61.06	93.75	79.84	56.67	38.75	19.85
13 มิย 46	น้ำเข้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	จุดที่ 2	-0.55	3.48	46.39	87.23	17.65	52.50	49.24	20.57
	จุดที่ 3	1.43	3.83	56.76	88.55	39.22	55.00	54.31	41.13
	น้ำออก	3.51	1.39	55.62	89.64	55.88	70.00	57.61	40.43
27 มิย 46	น้ำเข้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	จุดที่ 2	4.33	-7.39	37.28	80.89	62.50	61.54	44.29	11.02
	จุดที่ 3	4.98	-6.61	40.77	82.89	68.75	69.23	74.29	28.35
	น้ำออก	4.33	-18.68	54.59	84.44	90.63	63.75	62.86	40.94
10 กค 46	น้ำเข้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	จุดที่ 2	3.17	2.88	35.70	81.91	54.69	58.49	23.44	25.17
	จุดที่ 3	4.26	3.96	37.98	87.77	65.63	60.38	56.25	34.97
	น้ำออก	4.59	-4.32	51.18	90.57	78.91	63.21	64.29	41.96
เฉลี่ย	น้ำเข้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	จุดที่ 2	2.94	-2.48	43.28	85.55	65.49	59.28	34.08	17.92
	จุดที่ 3	3.73	-1.29	51.66	88.30	71.92	60.29	54.78	33.64
	น้ำออก	4.19	-5.33	56.15	90.02	77.13	63.24	57.32	35.83

ตารางที่ ก-19 ค่าเฉลี่ยปริมาณมลสารที่ระยะทางต่าง ๆ ของบึงประดิษฐ์

บึงประดิษฐ์	พารามิเตอร์ / จุดเก็บตัวอย่าง	pH	T (c)	Color (SU)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	TKN (mg/l)	TP (mg/l)
บ่อที่ 1	น้ำเข้า	9.19	27.20	194.06	338.13	138.00	3344.00	82.60	13.68
	จุดที่ 2	8.85	27.95	132.78	64.45	89.78	1575.40	60.50	11.95
	จุดที่ 3	8.70	27.33	127.69	50.63	67.75	1547.20	49.20	11.23
	น้ำออก	8.86	26.43	112.02	50.50	63.83	1541.40	51.28	11.10
บ่อที่ 2	น้ำเข้า	9.19	27.20	194.06	338.13	138.00	3344.00	82.60	13.68
	จุดที่ 2	8.86	27.03	136.11	72.10	60.10	1717.36	56.70	11.33
	จุดที่ 3	8.84	28.15	120.53	46.75	52.13	1656.96	48.30	9.28
	น้ำออก	8.82	26.65	107.22	44.75	47.63	1558.00	41.50	9.23
บ่อที่ 3	น้ำเข้า	9.19	27.20	194.06	338.13	138.00	3344.00	82.60	13.60
	จุดที่ 2	8.92	27.88	110.07	48.88	47.63	1361.60	54.45	11.23
	จุดที่ 3	8.85	27.55	93.81	39.55	38.75	1328.00	37.35	9.08
	น้ำออก	8.81	28.65	85.09	33.75	31.56	1229.40	35.25	8.78

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการคำนวณอัตราการไหลและระยะเวลาเก็บกัก

1) คำนวณอัตราการไหลในหน่วยการทดลองมีขนาด กว้าง 1.5 เมตร ยาว 7 เมตร สูง 0.4 เมตร
2) ระดับน้ำในหน่วยการทดลองสูง 0.35 เมตร
3) ตัวกลางที่ใช้คือกรวด มีอัตราส่วนช่องว่าง = 0.38

วิธีการคำนวณ

1) คำนวณหาปริมาตรช่องว่างในตัวกลางที่น้ำเสียไหลผ่าน

ปริมาตรช่องว่างในตัวกลาง = กว้าง x ยาว x ระดับน้ำ x อัตราส่วนช่องว่าง

= 1.5 ม. x 6.5 ม. x 0.35 ม. x 0.38

= 1.2968 ลูกบาศก์เมตร

2) คำนวณหาพื้นที่รับน้ำ

พื้นที่รับน้ำ = กว้าง x ยาว

= 1.5 ม. x 6.5 ม.

= 9.75 ตารางเมตร

3) คำนวณหาระยะเวลาเก็บกักและภาระปริมาณน้ำของเสียในบ่อ 1

ระยะเวลากักน้ำ = 5 วัน

อัตราการไหลของน้ำเสีย = $\frac{\text{ปริมาตรช่องว่างในตัวกลาง}}{\text{ระยะเวลากักน้ำ}}$

= $\frac{1.2968}{5}$

= 0.2594 ลูกบาศก์เมตร / วัน

= 0.26 ลูกบาศก์เมตร / วัน

ภาระปริมาณน้ำ = $\frac{\text{อัตราการไหลของน้ำเสีย}}{\text{พื้นที่รับน้ำ}}$

= $\frac{0.2594}{9.75}$

= 0.0266 เมตร / วัน

= 2.7 เซนติเมตร / วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) คำนวณระยะเวลาการเก็บกักและภาระปริมาณน้ำของน้ำเสียในบ่อ 2

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน

อัตราการไหลของน้ำเสีย = $\frac{\text{ปริมาตรช่องว่างในตัวกลาง}}{\text{ระยะเวลาเก็บกักน้ำ}}$

= $\frac{1.2968}{10}$

= 0.13 ลูกบาศก์เมตร / วัน

ภาระปริมาณน้ำ = $\frac{\text{อัตราการไหลของน้ำเสีย}}{\text{พื้นที่รับน้ำ}}$

= $\frac{0.1297}{9.7}$

= 0.0134 เมตร / วัน

= 1.34 เซนติเมตร / วัน

5) คำนวณระยะเวลาการเก็บกักและภาระปริมาณน้ำของน้ำเสียในบ่อ 3

ระยะเวลากักน้ำ 15 วัน

อัตราการไหลของน้ำเสีย = $\frac{\text{ปริมาตรช่องว่างในตัวกลาง}}{\text{ระยะเวลากักน้ำ}}$

= $\frac{1.2968}{15}$

= 0.086 ลูกบาศก์เมตร / วัน

ภาระปริมาณน้ำ = $\frac{\text{อัตราการไหลของน้ำเสีย}}{\text{พื้นที่รับน้ำ}}$

= $\frac{0.0864}{9.7}$

= 0.0089 เมตร / วัน

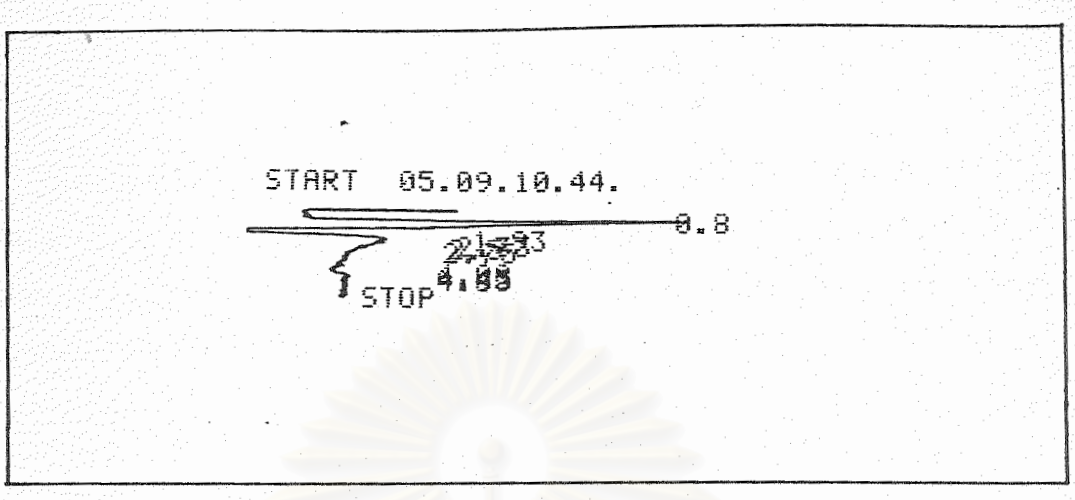
= 0.9 เซนติเมตร / วัน

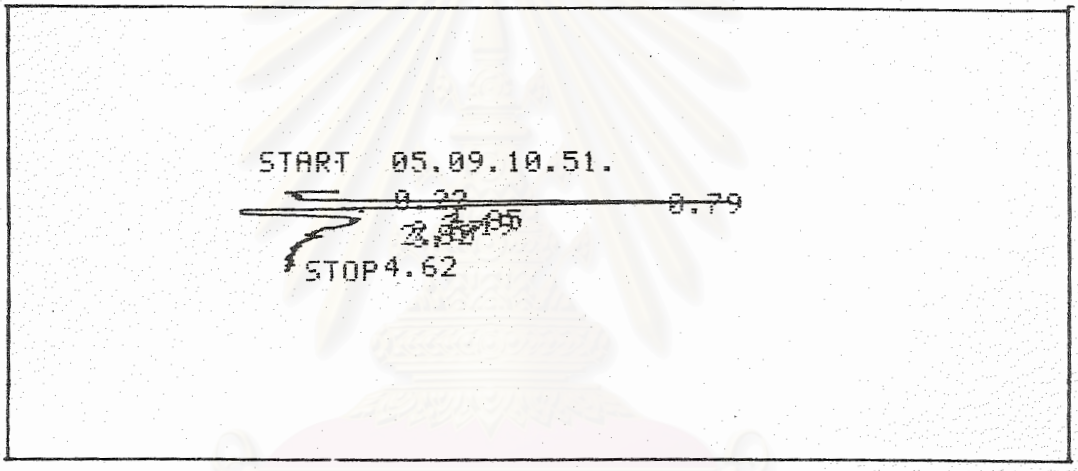
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

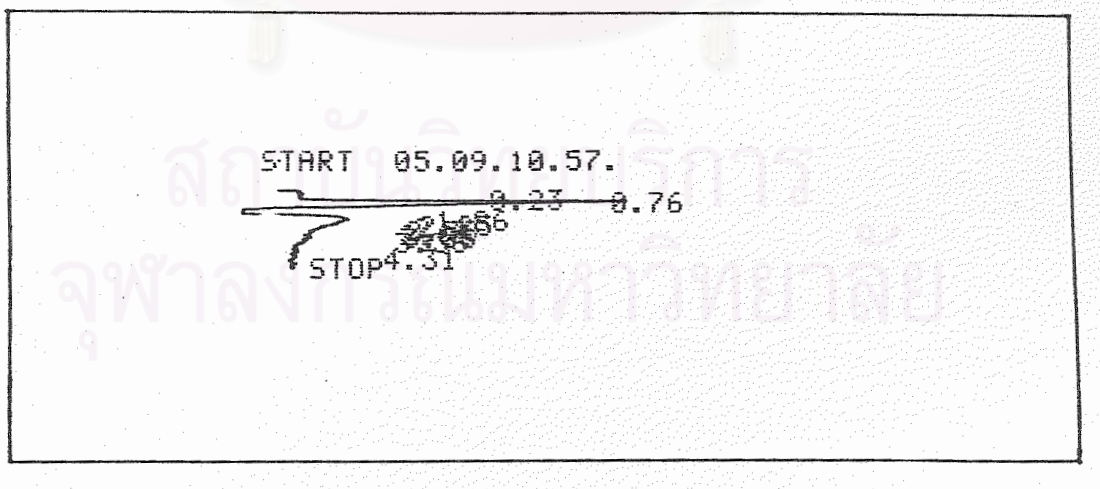
ภาคผนวก ค

ผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยเครื่อง HPLC

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย







รูปที่ ค-1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยเครื่อง HPLC (เรียงจากบนลงล่าง)
1) น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ 2) น้ำตัวอย่างกลางระบบบำบัดบึงประดิษฐ์
3) น้ำที่ออกจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวจุฑารัตน์ หนูสุข เกิดวันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ.2521 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2544

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย