การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน

นางสาว กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0206-8

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- 8 เม.ย. 2547
I2001566

MUNICIPAL SEWAGE TREATMENT USING SUB-SURFACE CONSTRUCTED WETLAND

KLOYKAN KAONATESUWAN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Environmental Science

Inter-Department of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-0206-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน
โดย	นางสาวกลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง)

กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ : การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (MUNICIPAL SEWAGE TREATMENT USING SUB-SURFACE CONSTRUCTED WETLAND) อ.ที่ปรึกษา : รศ.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ , 153 หน้า . ISBN 974-03-0206-8 .

งานวิจัยที่ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส จากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน รวมทั้งศึกษาการสะสมของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลาง 2 ชนิด คือ ตัวกลางดินปนทรายและตัวกลางทรายปนหินชนวน น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่างกัน 2 ค่า คือ น้ำเสียชุดที่ 1 ค่าซีโอดี , ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเป็น 500 , 20 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และน้ำเสียชุดที่ 2 มีค่า 500 , 40 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน อัตราการไหล 25 ลิตร/วัน รวมทั้งศึกษาปริมาณการสะสมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในส่วนต่างๆของระบบทั้งในตัวกลางและพืช คือ ต้นธูปฤาษี *(Typha angustiforia)*

จากผลการทดลองพบว่าบึงประดิษฐ์สามารถกำจัดซีโอดี , ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจากน้ำเสีย ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน โดยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และไนโตรเจน มีค่าสูงสุดในบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางกลางดินปนทราย (ร้อยละ 94.23 และ 94.59) และประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสมีค่าสูงสุดในบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน (ร้อยละ 74.67) ระบบที่ปลูกต้นธูปฤาษีและระบบควบคุมที่ไม่มีการปลูกพืชจะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีใกล้เคียงกัน ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤาษีจะมีค่าสูงกว่า โดยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเข้าส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในตัวกลาง ในตัวกลางดินปนทรายมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสะสมอยู่ร้อยละ 65.3 และ 36.0 ส่วนตัวกลางทรายปนหินชนวนมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสะสมอยู่ร้อยละ 53.8 และ 41.1 และบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดเมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นของ ซีโอดี 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนโตรเจน 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสฟอรัส 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวนจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดเมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นของ ซีโอดี 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนโตรเจน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสฟอรัส 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

สหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

##4289651620 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEY WORD : CONSTRUCTED WETLAND / SUB-SURFACE FLOW / MUNICIPAL SEWAGE

KLOYKAN KAONATESUWAN : MUNICIPAL SEWAGE TREATMENT USING SUB-SURFACE CONSTRUCTED WETLAND . THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, 153 pp . ISBN 974-03-0206-8 .

The removal efficiency of COD, N and P from synthetic wastewater using subsurface-flow constructed wetland were evaluated and N, P accumulation in wetland with either sand and soil or slate and sand medium were studies. Two types of wastewater contained COD, N and P concentration in wastewater at 500, 20, 5 mg/l and 500, 40, 10 mg/l respectively were used in this study. The retention time and flow rate were set at 5 day and 25 l/d respectively. In addition, N and P in various parts of the system which included medium and plant (*Typha angustifolia*) were studied .

The result showed that, the constructed wetland with both media types could removed COD, N and P from wastewater to thai housing standard of effluent. The best removal efficiency for COD and N was found in sand and soil medium (94.23% and 94.59% respectively) but the best removal efficiency for P was found in constructed wetland with slate and sand medium (74.67%), wetland with *Typha angustifolia* and control unit have the same treatment efficiency COD while the wetland with *Typha angustifolia* was higher treatability of N, P . Most N, P in influent was adsorbed on medium. For constructed wetland with sand and soil medium N and P accumulated was 65.3% and 36.0% respectively, and for constructed wetland with slate and sand medium N, P accumulated was 53.8% and 41.1% respectively. The best removal efficiency of sand and soil medium can be achieved when feeding wastewater at COD concentration of 500 mg/l, N 40 mg/l and P 10 mg/l and the best removal efficiency of constructed wetland with slate and sand medium can be achieved when feeding wastewater at COD concentration of 500 mg/l, N 20 mg/l and P 5 mg/l.

Inter-Department Environmental Science Student's signature Kloykan Kaon .

Field of study Environmental Science Advisor's signature Orathai Chavalparit

Academic year 2001 Co-advisor's signature -

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ท่านให้ความกรุณาแนะนำแนวทางในการทำวิจัยครั้งนี้ และผลักดันให้เกิดวิจารณญานในเชิงวิชาการอย่างเต็มที่ ทำให้ข้าพเจ้ามีความมุ่งมั่นในการทำการวิจัยนี้ อันเป็นผลทำให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ซึ่งให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการศึกษาของข้าพเจ้าอย่างดียิ่งในทุกๆเรื่องและเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการทุกๆท่านที่ช่วยกลั่นกรองและแก้ไขให้งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณอาจารย์ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆ ที่ทำให้มีวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขึ้นมาได้

ขอขอบคุณพี่จิรายุและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่กรุณาอำนวยความสะดวกในงานวิจัย

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ เพื่อน-พี่-น้อง ทุกๆคน ที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป .....ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 บทนำ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา 2

บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร 3

2.1 บึงประดิษฐ์ 3

2.2 กลไกการบำบัด 10

2.3 เกณฑ์ในการออกแบบ ..... .14

2.4 ธูปฤาษี (*Typha angustifolia*) 15

2.5 งานวิจัยที่ผ่านมา 18

บทที่ 3 วิธีดำเนินการ ..... .22

3.1 แผนการทดลอง 22

3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ 24

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 25

3.4 วิธีการวิเคราะห์ ..... .30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง 32
4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย 32
4.2 การศึกษาบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย 32
4.3 การศึกษาบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน 60
4.4 เปรียบเทียบระหว่างบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายและบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน 86
4.5 เปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยอื่นในประเทศ.....98
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 102
5.1 สรุปผลการทดลอง 102
5.2 ข้อเสนอแนะ 103

รายการอ้างอิง 104
ภาคผนวก 109
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง 109
ภาคผนวก ข สมดุลไนโตรเจนและฟอสฟอรัส 136
ภาคผนวก ค อัตราการไหลและภาระบรรทุกน้ำของระบบ 147
ภาคผนวก ง มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง.....149
ประวัติผู้เขียน 153

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ชนิดของพืชที่พบทั่วไปในพื้นที่ชุ่มน้ำ 7
2.2 ความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสและอัตราการนำไปใช้ของพืช.....7
2.3 กลไกการบำบัดน้ำเสียในบึงประดิษฐ์ 11
2.4 เกณฑ์ในการออกแบบบึงประดิษฐ์ 14
3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์น้ำ 30
3.2 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์พืช 31
3.3 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ตัวกลาง 31
4.1 ค่าเฉลี่ยลักษณะสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าบึงประดิษฐ์ 32
4.2 ค่าเฉลี่ยลักษณะสมบัติและประสิทธิภาพการกำจัดของน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย 47
4.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารที่ระยะทางต่างๆของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย 51
4.4 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดธาตุอาหารที่ระยะทางต่างๆของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย 51
4.5 การสะสมของสารอินทรีย์ในตัวกลางดินปนทรายหลังจากเสร็จสิ้นการทดลอง 52
4.6 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย 56
4.7 ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนต่างๆของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย..... 59
4.8 ค่าเฉลี่ยลักษณะสมบัติและประสิทธิภาพการกำจัดของน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน 74
4.9 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารที่ระยะทางต่างๆของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน 78
4.10 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดธาตุอาหารที่ระยะทางต่างๆของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน 78
4.11 การสะสมของสารอินทรีย์ในตัวกลางทรายปนหินชนวนหลังจากเสร็จสิ้นการทดลอง 79
4.12 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน 82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.13 ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนต่างๆของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกกลาง
ทรายปนหินชนวน.....84
4.14 ค่าเฉลี่ยลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งระหว่างบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายและ
บึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน 86
4..15 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดระหว่างบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายและ
บึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน.....87
4.16 การสะสมสารอินทรีย์, ธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในตัวกลาง.....94
4.17 ปริมาณการสะสมสารอินทรีย์, ธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในตัวกลาง 94
4.18 การเจริญเติบโตของต้นธูปฤาษีระหว่างบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย
และบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวนตลอดระยะเวลาการทดลอง 96
4.19 ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สะสมในต้นธูปฤาษีระหว่างบึงประดิษฐ์
ที่มีตัวกลางดินปนทรายและบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน 97

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ส่วนประกอบต่างๆที่สำคัญของบึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือพื้นดิน.....5
2.2 ส่วนประกอบต่างๆที่สำคัญของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน.....5
2.3 การปลดปล่อยออกซิเจนสู่บริเวณระบบรากของธูปฤาษี.....17
2.4 กลไกการเคลื่อนย้ายและการเปลี่ยนออกซิเจนจากบรรยากาศไปยังบริเวณ
ระบบรากของธูปฤาษี.....17
3.1 บ่อที่ใช้ทดลอง.....23
3.2 การติดตั้งเครื่องมือในแต่ละหน่วยการทดลอง.....25
3.3 มิติของบึงประดิษฐ์.....26
3.4 บึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการทดลอง.....27
3.5 แสดงเก็บบ่อตัวอย่าง.....27
3.6 ตำแหน่งพืชในระบบ.....28
3.7 ลักษณะของตัวกลางดินปนทรายในการทดลอง.....29
3.8 ลักษณะของตัวกลางดินปนหินชนวนในการทดลอง.....29
4.1 ค่าพีเอชของน้ำเข้าและน้ำออกตลอดระยะเวลาการทดลองของบึงประดิษฐ์
ที่มีตัวกลางดินปนทราย.....34
4.2 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย.....35
4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย.....36
4.4 ปริมาณทีเคเอ็นในน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายบ่อที่ 1 (ชุดควบคุม).....37
4.5 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มี
ตัวกลางดินปนทรายบ่อที่ 1 (ชุดควบคุม).....38
4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายบ่อที่ 1 (ชุดควบคุม)...38
4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลาง
ดินปนทรายบ่อที่1(ชุดควบคุม).....39
4.8 ปริมาณทีเคเอ็นในน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายบ่อที่ 2.....40
4.9 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายบ่อที่ 2.....41
4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายบ่อที่ 2.....41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนของบึงประดิษฐ์ที่มี
ตัวกลางดินปนทรายบ่อที่ 2.....42
4.12 ปริมาณทีเคเอ็นในน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายบ่อที่ 3.....43
4.13 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายบ่อที่ 3.....43
4.14 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายบ่อที่ 3..... 44
4.15 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนของบึงประดิษฐ์ที่มี
ตัวกลางดินปนทรายบ่อที่ 3..... .45
4.16 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย..... 46
4.17 ประสิทธิภาพฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย.....46
4.18 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย.....48
4.19 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นและแอมโมเนียไนโตรเจนของบึงประดิษฐ์ที่มี
ตัวกลางดินปนทราย.....49
4.20 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย.....50
4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตามระยะทางของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย.....52
4.22 ปริมาณไนโตรเจนรูปต่างๆที่ระยะทางต่างๆของบึงประดิษฐ์ที่มี
ตัวกลางดินปนทราย.....54
4.23 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสตามระยะทางของบึงประดิษฐ์ที่มี
ตัวกลางดินปนทราย.....55
4.24 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย.....57
4.25 ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนต่างๆของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย.....58
4.26 ค่าพีเอชของน้ำเข้าและน้ำออกตลอดระยะเวลาการทดลองของบึงประดิษฐ์
ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน.....61
4.27 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน.....62
4.28 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย.....63
4.29 ปริมาณทีเคเอ็นในน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน
บ่อที่ 1 (ชุดควบคุม).....64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.30 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน บ่อที่ 1 (ชุดควบคุม).....65
4.31 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน บ่อที่ 1 (ชุดควบคุม).....65
4.32 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลาง ทรายปนหินชนวน บ่อที่ 1 (ชุดควบคุม).....66
4.33 ปริมาณทีเคเอ็นในน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน บ่อที่ 2.....67
4.34 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มี ตัวกลางทรายปนหินชนวน บ่อที่ 2.....67
4.35 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน บ่อที่1.....68
4.36 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มี ตัวกลางทรายปนหินชนวน บ่อที่ 2.....68
4.37 ปริมาณทีเคเอ็นในน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน บ่อที่ 3.....69
4.38 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มี ตัวกลางทรายปนหินชนวน บ่อที่ 1 (ชุดควบคุม).....70
4.39 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน บ่อที่3.....70
4.40 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนของบึงประดิษฐ์ที่มี ตัวกลางทรายปนหินชนวน บ่อที่ 3.....71
4.41 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน.....72
4.42 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน.....73
4.43 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของบึงประดิษฐ์ที่ใช้ตัวกลางทรายปนหินชนวน.... 74
4.44 และแอมโมเนียไนโตรเจนของบึงประดิษฐ์ ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน..... 75
4.45 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นแบ่งตามระยะเวลา ของบึงประดิษฐ์ที่มี ตัวกลางทรายปนหินชนวนบ่อที่ 1 (ชุดควบคุม)และบ่อที่ 3 76
4.46 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของบึงประดิษฐ์ ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน..... .76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.47 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตามระยะทางของบึงประดิษฐ์
ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน.....77
4.48 ปริมาณไนโตรเจนรูปต่างๆที่ระยะทางต่างๆของบึงประดิษฐ์
ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน..... 80
4.49 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสตามระยะทางของบึงประดิษฐ์ที่มี
ตัวกลางทรายปนหินชนวน.....81
4.50 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน..... 83
4.51 ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนต่างๆของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน.....85
4.52 ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำทิ้งระหว่างบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายและ
บึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน.....88
4.53 ปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยระหว่างบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายและ
บึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน.....89
4.54 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยระหว่างบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายและ
บึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน.....90
4.55 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายและ
บึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน.....91
4.56 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสระหว่างบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทรายและ
บึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน.....93
4.57 ลักษณะของต้นธูปฤาษีในบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางดินปนทราย
หลังจากทดลองแล้ว 4 เดือน.....95
4.58 ลักษณะของต้นธูปฤาษีในบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทรายปนหินชนวน
หลังจากทดลองแล้ว 4 เดือน.....95