การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม

นางสาวสุชาดา ปุณณสัมฤทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-533-461-8

TREATMENT OF DOMESTIC SEWAGE BY COMBINED-SYSTEM CONSTRUCTED WETLAND

Suchada Punnasamrit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Engineering in Environmental

Suranaree University of Technology

Academic Year 2005

ISBN 974-533-461-8

การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.สุดจิต ครุจิต)
ประธานกรรมการ

(อ. ดร.จรียา ยิ้มรัตนบวร)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร)
กรรมการ

(อ. ดร.นเรศ เชื้อสุวรรณ)
กรรมการ

(รศ. ดร.เสาวณีย์ รัตนพานี)
รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ ขำพิศ)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สุชาดา ปุณณสัมฤทธิ์ : การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม (TREATMENT OF DOMESTIC SEWAGE BY COMBINED-SYSTEM CONSTRUCTED WETLAND) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.จรียา ยิ้มรัตนบวร, 78 หน้า. ISBN 974-533-461-8

พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีประสิทธิภาพการกำจัดใกล้เคียงกับระบบอื่นๆ และมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียต่ำ ใช้พลังงานน้อย แต่มีข้อเสียคือใช้พื้นที่ค่อนข้างมาก และรับปริมาณสารอินทรีย์ได้น้อย ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ โดยเปรียบเทียบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และแบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 10 และ 12 วัน และศึกษารูปแบบการจัดลำดับก่อน – หลังของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมที่ประกอบด้วยแบบไหลผ่านพื้นผิวรวมกับแบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน ในการศึกษาใช้น้ำเสียจากหอพักนักศึกษา เรือนพักบุคลากร และอาคารต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา ในการศึกษาประกอบด้วย 2 ชุด โดยแต่ละชุดจะประกอบด้วยบ่อซีเมนต์ขนาด 1.0 เมตร × 3.0 เมตร × 0.8 เมตร โดยชุดที่ 1 เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว จำนวน 2 บ่อ สำหรับแบบไหลผ่านพื้นผิว และแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง และชุดที่ 2 เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม จำนวน 2 บ่อ สำหรับแบบไหลผ่านพื้นผิว – ไหลใต้ผิวตัวกลาง และแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง – ไหลผ่านพื้นผิว พืชที่ใช้ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ได้แก่ ต้นกกรังกา (Cyperus alternifolius L.)

จากผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และแบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 10 และ 12 วัน มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดแตกต่างกัน โดยที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน มีค่าสูงสุดสำหรับประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี ในรูปบีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ SF และเมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และแบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเท่ากัน พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยวทั้ง 2 แบบ มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสแตกต่างกันทุกระยะเวลาเก็บกักน้ำ โดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ SF สามารถบำบัดได้ดีกว่าแบบ FWS ส่วนการศึกษารูปแบบการจัดลำดับก่อน – หลังของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม พบว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยรวมที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นรูปแบบการจัดลำดับก่อน – หลังของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมจึงไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยรวม

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2548 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

SUCHADA PUNNASAMRIT : TREATMENT OF DOMESTIC SEWAGE BY COMBINED-SYSTEM CONSTRUCTED WETLAND. THESIS ADVISOR : JAREEYA YIMRATTANABOVORN, Ph.D. 78 PP. ISBN 974-533-461-8

CONSTRUCTED WETLAND/FREE WATER SURFACE/SUBSURFACE FLOW/ COMBINED SYSTEM/DOMESTIC SEWAGE

Constructed wetlands generally have similar removal efficiency of wastewater as conventional systems. The wastewater treatment by constructed wetlands can be economically feasible and required low energy. However, the disadvantages of these systems are limited by available land and low organic loading. Therefore, the objective of this study was to study the removal efficiency of wastewater using the constructed wetlands with comparison between the free water surface flow (FWS) and subsurface flow (SF) constructed wetlands. Hydraulic retention time (HRT) was set at 8 10 and 12 days. This study also compared suitable order priority of combined constructed wetland. The combined systems were composed of FWS and SF in series at HRT of 5 days. The wastewater from dormitories, and buildings in Suranaree University of Technology, Muang District, Nakhon Ratchasima Province were used as influent for this study. The study was conducted in two sets. Each set had two ponds located adjacent to one another and each pond had the dimension of 1.0 m × 3.0 m × 0.8 m. The first set consisted of two ponds, a FWS single system and a SF single system. The second set consisted of two ponds, a FWS-SF combined system and a SF-FWS combined system. The Cyperus alternifolious L. was planted in every constructed wetland system.

The result showed that the removal efficiency of FWS and SF single system were significantly different at HRT of 8 10 and 12 days. The HRT of 10 day had the highest in COD BOD TKN TP removal efficiency for FWS single system and TP removal efficiency for SF single system. The FWS and SF single systems were compared at the same HRT and the results showed that TP removal efficiency of both systems were significantly different for every HRT. The TP removal efficiency of SF single system was higher than FWS single system. The result also showed that the order of FWS and SF in a combined system were not significantly different in term of removal efficiency at HRT of 5 days. Therefore, the average generally removal efficiency of combined system was not affected by the order of each combined system.

School of Environmental Engineering Student's Signature Siri. Pant

Academic Year 2004 Advisor's Signature Jaruya Y.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย อาทิเช่น

- ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย
- อาจารย์ ดร.จรียา ยิ้มรัตนบวร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
- ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร.สุดจิต ครุจิต ประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์
- อาจารย์ ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร ที่ช่วยให้คำปรึกษา และกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์
- อาจารย์ ดร.นเรศ เชื้อสุวรรณ กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงจินต์ ผลประเสริฐ ที่ช่วยให้คำปรึกษาวิทยานิพนธ์
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา ที่ช่วยให้คำปรึกษาวิทยานิพนธ์
- หน่วยงานประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- คุณวิมลพร โสภณ และคุณ มานพ จรโคกกรวด ที่ให้การช่วยเหลือด้านการดำเนินงานวิจัย
- เพื่อนๆ ร่วมสถาบันที่ให้การช่วยเหลือ และให้กำลังใจมาโดยตลอด
- และกลุ่มบุคคลอื่นๆ ที่ให้การช่วยเหลือด้านการดำเนินงานวิจัย

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรม สนับสนุนให้ทุนการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

สุชาดา ปุณณสัมฤทธิ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญรูป ..... ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 น้ำเสียจากแหล่งชุมชน 3
2.2 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ 3
2.2.1 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว 4
2.2.2 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง 4
2.2.3 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม 6
2.3 ข้อดีและข้อเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว
และแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง 7
2.4 องค์ประกอบของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ 8
2.4.1 พืชในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ 8
2.4.2 ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ 11
2.4.3 จุลินทรีย์ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ 11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.4 การถ่ายเทออกซิเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ 13
2.4.5 อุณหภูมิในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ 13
2.4.6 ค่าพีเอชในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ 14
2.5 กลไกและประสิทธิภาพในการบำบัดของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ 14
2.5.1 การกำจัดสารอินทรีย์ 14
2.5.2 การกำจัดของแข็งแขวนลอย 16
2.5.3 การกำจัดไนโตรเจน 16
2.5.4 การกำจัดฟอสฟอรัส 17
2.6 เกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ 17
2.6.1 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 17
2.6.2 อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 17
2.6.3 อัตราภาระบรรทุกชลศาสตร์ 19
2.6.4 ความลึกของน้ำ 19
2.7 สรุป 19
3 วิธีดำเนินการวิจัย 20
3.1 สถานที่ทำการศึกษาวิจัย 20
3.2 ระยะเวลาทำการศึกษาวิจัย 20
3.3 การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ของการศึกษาวิจัย 20
3.4 ขั้นตอนการจัดตั้งระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ของการศึกษาวิจัย 22
3.4.1 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว 22
3.4.2 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม 23
3.5 การเตรียมพืช 25
3.6 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาวิจัย 25
3.7 การดำเนินการทดลอง 27
3.8 การวิเคราะห์ตัวอย่าง 27
3.9 การวิเคราะห์ข้อมูล 28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4 ผลการทดลองและอภิปรายผล 29

4.1 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ที่ระยะเวลาเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว 29

4.1.1 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิว 29

4.1.2 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง 30

4.2 การเปรียบเทียบของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวและแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง 32

4.2.1 สารอินทรีย์ 32

4.2.2 ของแข็ง 35

4.2.3 ไนโตรเจน 35

4.2.4 ฟอสฟอรัส 36

4.3 การศึกษารูปแบบการจัดลำดับก่อน-หลังของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม 37

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 40

5.1 สรุปผลการทดลอง 40

5.2 ข้อเสนอแนะ 41

5.3 ข้อจำกัดในงานวิจัย 41

รายการอ้างอิง 42

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ประสิทธิภาพการบำบัดของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ 47

ภาคผนวก ข. การศึกษาความแปรปรวน 66

ประวัติผู้เขียน 78

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 บทบาทส่วนต่างๆ ของพืชโผล่พ้นน้ำในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ 9
2.2 กลไกการกำจัดมลสารต่างๆ ในน้ำเสีย 15
2.3 เกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ 18
3.1 รายละเอียดการทดลองในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบต่างๆ 23
3.2 ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัย 25
3.3 วิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสีย 28
4.1 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว 32
4.2 ปริมาตรของตัวกลางดินปนทราย และอัตราการเจริญเติบโต
ของต้นกกรังกาในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว 37
4.3 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม 37
4.4 อัตราการเจริญเติบโตของต้นกกรังกาในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม 39
ก1 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า - ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่
ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน 50
ก2 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า - ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่
ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน (ต่อ) 51
ก3 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า - ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง
ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน 52
ก4 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า - ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง
ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน (ต่อ) 53
ก5 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า - ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่
ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน 54
ก6 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า - ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่
ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน (ต่อ) 55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ก7 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า - ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน 56

ก8 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า - ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน (ต่อ)..... 57

ก9 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า - ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน 58

ก10 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า - ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน (ต่อ) 59

ก11 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า - ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน 60

ก12 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า - ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน (ต่อ)..... 61

ก13 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า - ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม แบบไหลผ่านพื้นผิว - ไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน 62

ก14 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า - ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม แบบไหลผ่านพื้นผิว - ไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน (ต่อ)..... 63

ก15 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า - ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง - ไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน..... 64

ก16 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า - ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง - ไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน (ต่อ) 65

ข1 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนวิธี One - way ANOVA ของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ 67

ข2 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนวิธี One - way ANOVA ของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ 68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ข3 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนวิธี One - way ANOVA ของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวกับแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน 69

ข4 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนวิธี One - way ANOVA ของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวกับแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน 70

ข5 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนวิธี One - way ANOVA ของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวกับแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน 71

ข6 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนวิธี One - way ANOVA ของการศึกษารูปแบบ การจัดลำดับก่อน - หลังของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม 72

ข7 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำเข้าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบต่างๆที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน 73

ข8 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำเข้าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบต่างๆที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน 73

ข9 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำเข้าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบต่างๆที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน 73

ข10 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน 74

ข11 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน 74

ข12 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน 75

ข13 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน 75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ข14 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน 76
ข15 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน 76
ข16 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม แบบไหลผ่านพื้นผิว - ไหลใต้ผิวตัวกลางผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน 77
ข17 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง - ไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน..... 77

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ที่สำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว 5
2.2 ส่วนประกอบต่างๆ ที่สำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง 5
2.3 สภาวะของดินในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในช่วงระยะแรก 12
2.4 สภาวะของดินในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในช่วงที่ระบบมีการพัฒนาเต็มที่แล้ว 12
3.1 แบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว 21
3.2 แบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม 21
3.3 รูปตัดตามขวางพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิว 24
3.4 รูปตัดตามขวางพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง 24
3.5 รูปตัดตามขวางพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม
แบบไหลผ่านพื้นผิว-แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง 26
3.6 รูปตัดตามขวางพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม
แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง-แบบไหลผ่านพื้นผิว 26
4.1 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว
แบบไหลผ่านพื้นผิว ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ 31
4.2 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว
แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ 31
4.3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์
แบบเดี่ยวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน 33
4.4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์
แบบเดี่ยวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน 33
4.5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์
แบบเดี่ยวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน 34
4.6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์
แบบผสมที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน 38

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

α	Void Fraction or Porosity of The Bed	อัตราส่วนช่องว่างดิน
BOD	Biochemical Oxygen Demand	บีโอดี
COD	Chemical Oxygen Demand	ซีโอดี
d	Depth of Submergence	ความลึกของน้ำ
d_n	Media Depth	ความลึกของชั้นดิน
d_w	Water Depth	ความลึกของน้ำ
FWS	Free Water Surface Flow Constructed Wetland	พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว
FWS-SF	Free Water Surface Flow-Subsurface Flow Constructed Wetland	พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว-ไหลใต้ผิวตัวกลาง
HLR	Hydraulic Loading Rate	อัตราภาระบรรทุกชลศาสตร์
HRT	Hydraulic Retention Time	ระยะเวลาเก็บกักน้ำ
L	Length of System	ความยาวของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์
n	Void Fraction in The Media	อัตราส่วนช่องว่างดิน
OLR	Organic Loading Rate	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์
Q	Average Hydraulic Loading Rate	อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำ
SF	Subsurface Flow Constructed Wetland	พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง
SF-FWS	Subsurface Flow-Free Water Surface Flow Constructed Wetland	พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง-ไหลผ่านพื้นผิว
t and t'	Hydraulic Retention Time	ระยะเวลาเก็บกักน้ำ
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen	ทีเคเอ็น
TP	Total Phosphorus	ฟอสฟอรัสทั้งหมด
TSS	Total Suspended Solids	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด
W	Width of System	ความกว้างของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

การจัดการน้ำเสียชุมชนสำหรับประเทศไทยได้มีการพัฒนาเพื่อศึกษาหาวิธีที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียให้อยู่ในสภาพที่สามารถปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้อย่างปลอดภัย ไม่ทำให้แหล่งน้ำเกิดการเน่าเสียส่งกลิ่นเหม็นเป็นที่น่ารังเกียจ

พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (Constructed Wetland) นับเป็นทางเลือกทางหนึ่งที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากเป็นระบบที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเลียนแบบกลไกการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีอยู่ตามแหล่งธรรมชาติ โดยใช้ประโยชน์จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างพืชที่ปลูกกับจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสีย (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544) พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์จึงเป็นระบบบำบัดน้ำเสียอีกระบบหนึ่งที่ได้รับความนิยม เนื่องจากใช้เงินทุนค่อนข้างต่ำ ใช้พลังงานน้อย แต่ให้คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบใกล้เคียงกับระบบบำบัดน้ำเสียประเภทอื่น และได้มีการนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มาใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนอยู่ทั่วไป เช่น การนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวเพื่อกำจัดสารอินทรีย์จากน้ำเสียหรือการนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางเพื่อกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสีย เป็นต้น โดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ทั้ง 2 ประเภท คือ พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว (Free Water Surface Flow Constructed Wetland) เป็นระบบที่น้ำเสียไหลผ่านผิวหน้าดินหรือตัวกลางสัมผัสกับอากาศโดยตรง จากนั้นจึงไหลซึมลงสู่พื้น และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง (Subsurface Flow Constructed Wetland) เป็นระบบที่น้ำเสียไหลผ่านลงไปในตัวกลางซึ่งมีพืชน้ำอยู่ในส่วนนี้ น้ำเสียที่ผ่านจะถูกบำบัดระหว่างสัมผัสพื้นผิวตัวกลาง (ลักษณี คณานิธินันท์, 2539) จึงมีการนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางมาต่ออนุกรมหรือต่อขนานกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย แต่มีข้อเสียคือจะทำให้ระบบดังกล่าวมีความต้องการใช้พื้นที่ในการก่อสร้างจำนวนมาก จึงไม่เหมาะกับแหล่งชุมชนที่มีพื้นที่จำกัด

ดังนั้น การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์จึงเป็นการพัฒนาประสิทธิภาพของระบบ โดยการนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มารวมไว้ภายในบ่อเดียวกัน ระหว่างพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวกับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง เพื่อเป็นการแก้ปัญหาการใช้พื้นที่ในการก่อสร้างระบบให้ลดน้อยลง

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวกับแบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 10 และ 12 วัน

1.2.2 เพื่อศึกษารูปแบบการจัดลำดับก่อน – หลังที่เหมาะสมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และแบบไหลใต้ผิวตัวกลางของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากหอพักนักศึกษา เรือนพักบุคลากร และอาคารต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา โดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว และแบบผสม ซึ่งมีขนาด 1.0 เมตร × 3.0 เมตร × 0.8 เมตร จำนวน 4 บ่อ เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียระหว่างพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวกับแบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่แตกต่างกัน คือ 8 10 และ 12 วัน รวมทั้งศึกษารูปแบบการจัดลำดับก่อน – หลังของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว – ไหลใต้ผิวตัวกลางกับแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง – ไหลผ่านพื้นผิว พืชที่ใช้ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยวและแบบผสมของการศึกษาวิจัย คือ ต้นกกรังกา (Cyperus alternifolius L.)

ในแต่ละการทดลองจะทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านเข้า – ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว และแบบผสม เพื่อนำมาหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย และทำการสุ่มตัวอย่างพืชเพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของต้นกกรังกาในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบต่างๆ

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ใช้กันทั่วไปประกอบด้วยกระบวนการทางเคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของน้ำเสียที่เกิดขึ้น เช่น การตกตะกอนด้วยสารเคมี และการตกตะกอนทางชีววิทยา เป็นต้น กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพเป็นอีกกระบวนการที่นิยมใช้ เนื่องจากมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ได้ดี พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยกระบวนการทางชีวภาพ เนื่องจากมีการใช้พืช และจุลินทรีย์ช่วยในการบำบัดน้ำเสีย

2.1 น้ำเสียจากแหล่งชุมชน

น้ำที่ถูกใช้แล้วจากแหล่งชุมชนต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของสารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ต่างๆ และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กอาศัยปะปนอยู่ด้วย ได้แก่ แบคทีเรีย ไวรัส และโปรโตซัว ซึ่งน้ำเสียประเภทนี้เป็นอาหารที่ดีเยี่ยมสำหรับแบคทีเรีย ดังนั้นแบคทีเรียที่อยู่ในน้ำเสียจึงมีการเจริญอย่างรวดเร็ว โดยจำนวนของแบคทีเรียในน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร อาจมีแบคทีเรียได้หลายๆ ล้านตัว (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2540)

2.2 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างที่ใดที่หนึ่ง โดยมีจุดประสงค์เพื่อเป็นเทคโนโลยีใหม่ในการบำบัดน้ำเสีย การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์เพื่อบำบัดน้ำเสีย มีหลักการเบื้องต้นเหมือนกับพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ คือ มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยา โดยอาศัยพืชน้ำ จุลินทรีย์ รวมทั้งดินเป็นตัวบำบัด (ลักษณี คณานิธินันท์, 2539) ซึ่งพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สามารถกำจัดบีโอดี ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และของแข็งแขวนลอยได้มากกว่าร้อยละ 50 – 60 ขึ้นไป (Gersberg et al., 1986; Theisen and Martin, 1987; Patruno and Russel, 1994) แต่พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แตกต่างกับพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติตรงที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้มากขึ้น ดังนั้นข้อได้เปรียบของการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ คือ สถานที่ตั้งซึ่งมีความยืดหยุ่นจะตั้งอยู่ที่ใดหรือมีขนาดใดก็ได้ รวมทั้งการควบคุมการไหลของน้ำ และระยะเวลาเก็บกักน้ำ โดยอาศัยเกณฑ์การออกแบบต่างๆ (Bastain et al., 1989) พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มี 2 แบบคือ พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหล

ใต้ผิวตัวกลาง และต่อมาได้มีการศึกษาโดยการนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ทั้ง 2 แบบ มาใช้ร่วมกันโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

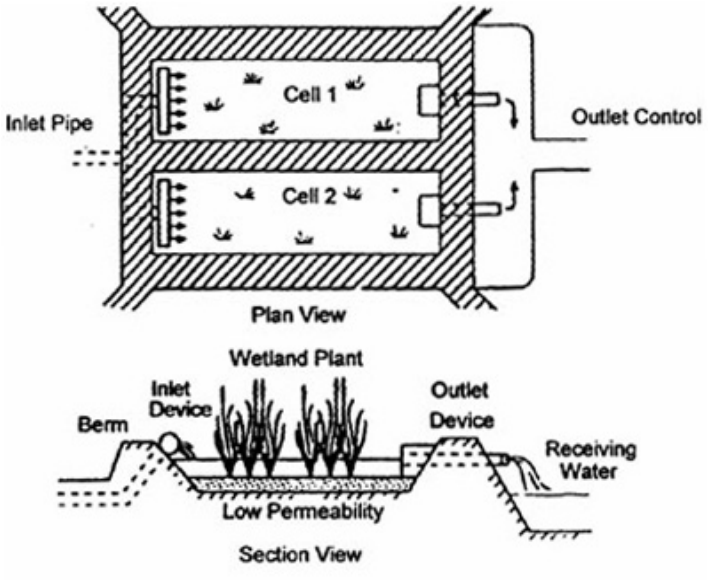
2.2.1 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว (Free Water Surface Flow Constructed Wetland, FWS)

เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ที่น้ำเสียไหลผ่านผิวหน้าดินหรือตัวกลาง สัมผัสกับอากาศโดยตรง จากนั้นจึงไหลซึมลงสู่พื้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งประกอบด้วยพืชน้ำหลายชนิด และมีระดับน้ำลึกประมาณ 0.1 – 0.6 เมตร แต่โดยทั่วไปจะมีระดับความลึกประมาณ 0.3 เมตร พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในรูปแบบนี้อาศัยการทำงานของพืชในการบำบัดน้ำเสียเป็นหลัก น้ำเสียจะไหลตามแนวนอนขนานกับพื้นดิน ซึ่งมีการบดอัดดินให้แน่นหรือปูด้วยวัสดุกันซึม โดยพืชน้ำจะทำให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุ และเป็นที่ยึดเกาะของพวกจุลินทรีย์ ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำ (ลักษณี คณานิธนันท์, 2539) ซึ่งจะปล่อยให้น้ำเสียไหลเข้าระบบอย่างช้าๆ ผ่านก้านต้นพืช และรากพืช จึงเป็นขั้นตอนหลักที่ทำการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้ โดยการตกตะกอนโดยพืช และการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ค่าบีโอดีลดลง (ศุวศา กานตวนิชกูร,2544)

พิจิตรา ชโยปถัมภ์ (2544) ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวเพื่อบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร จำนวน 8 บ่อ มีขนาด 0.25 เมตร × 1.25 เมตร พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวสามารถกำจัดซีโอดี และบีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 67.1 – 91.6 และ 68.3 – 92.2 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำนานขึ้น จะเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีขึ้น และภายในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวออกซิเจนสามารถถ่ายเทได้ดียิ่งขึ้น จึงทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มาก ส่วนการศึกษาของ รุจิรัชต์ มันตาพันธ์ (2537) ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวในการบำบัดน้ำเสียจากหอพักนักศึกษาในมหาวิทยาลัยขอนแก่น จำนวน 4 บ่อ มีขนาด 1.0 เมตร × 9.0 เมตร พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวสามารถกำจัดบีโอดีได้มากสุดเฉลี่ยร้อยละ 67.1 พบว่าพืชช่วยเพิ่มพื้นที่ให้จุลินทรีย์เกาะอาศัย และมีออกซิเจนเพียงพอสำหรับจุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลาย ทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์ที่จะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น

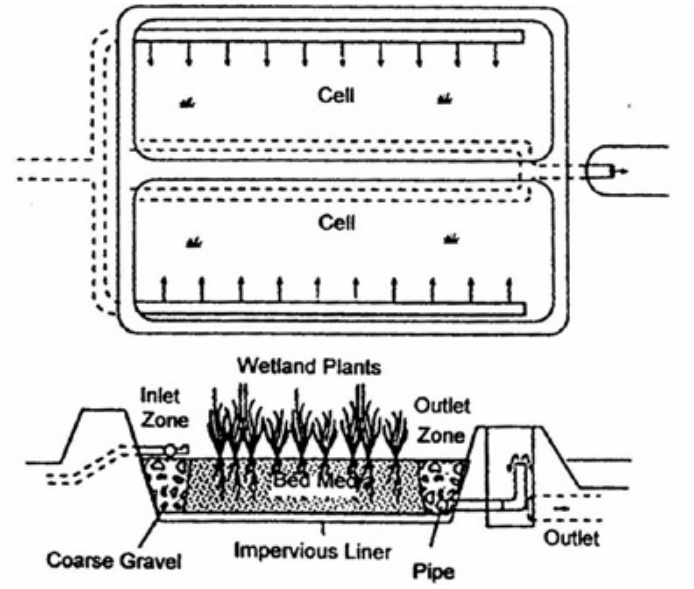
2.2.2 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง (Subsurface Flow Constructed Wetland, SF)

เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยผ่านลงไปในชั้นตัวกลางที่มีพืชน้ำขึ้นอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ตัวกลางที่ใช้เป็นพวกหินบด กรวด หรือดินชนิดต่างๆ ซึ่งตัวกลางอาจมีเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งหรือใช้รวมกันได้ (ลักษณี คณานิธินันท์, 2539) ความหนาชั้นตัวกลางประมาณ 0.6 – 0.7 เมตร ด้านล่างอัดด้วยดินเหนียวหรือวัสดุกันซึม เพื่อรักษาระดับน้ำซึ่งจะต่ำกว่าผิวตัวกลางเล็กน้อย (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544) โดยที่ทางน้ำเข้าจะไหลผ่านข้างใต้ชั้นตัวกลางในแนวนอนหรือแนวดิ่งได้ และทางน้ำออกอยู่ลึก



หมายเหตุ จาก Treatment Wetlands, โดย Kedlec and Knight, 1996, Boca Raton : Lewis.

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ที่สำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว
(Free Water Surface Flow Constructed Wetland, FWS)



หมายเหตุ จาก Treatment Wetlands, โดย Kedlec and Knight, 1996, Boca Raton : Lewis.

รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบต่างๆ ที่สำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง
(Subsurface Flow Constructed Wetland, SF)

จากผิวตัวกลางประมาณ 0.3 – 0.6 เมตร (ระดับน้ำอยู่เท่ากันหรือต่ำกว่าผิวดิน) พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ระบบนี้น้ำเสียที่ผ่านเข้าระบบจะถูกบำบัดระหว่างสัมผัสพื้นผิวตัวกลาง และรากพืชซึ่งมีจุลินทรีย์เกาะอยู่ โดยสารแขวนลอยหรือสารอินทรีย์จะตกตะกอนภายในตัวกลาง ส่วนสารที่ละลายได้จะถูกดูดซับที่ผิวของตัวกลาง และย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทั้งกลุ่มที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ธาตุอาหารในน้ำเสียจะลดลงเนื่องจากกลไกการดูดซึมของพืช พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางสามารถกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลาง และชนิดของน้ำเสีย (พิรัฐพล ตนานนท์, 2545)

Maschinski et al., (1999) ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง เพื่อบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 2 จากโรงบำบัดน้ำเสียของรัฐแอริโซนาในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มาต่ออนุกรมกัน 3 บ่อ มีขนาด 5.4 เมตร × 12.2 เมตร พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางสามารถกำจัดทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสเฉลี่ยร้อยละ 84 และ 73 ตามลำดับ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจน และเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรทแล้วซึมลงสู่ตัวกลาง ซึ่งตัวกลางของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางสามารถดูดซับธาตุอาหารต่างๆ ได้มาก จากนั้นพืชสามารถดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตต่อไปหรือเปลี่ยนไนเตรทเป็นรูปอื่น และจากการศึกษาของ กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ (2544) ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนที่เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ จำนวน 6 บ่อ มีขนาด 0.3 เมตร × 3.2 เมตร พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางสามารถกำจัดไนโตรเจนได้สูงสุดในตัวกลางดินปนทรายคิดเป็นร้อยละ 94.6 เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ในตัวกลางดินปนทรายที่นำไนโตรเจนไปใช้ในการสร้างเซลล์ ซึ่งพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางมีพื้นที่ของตัวกลางสำหรับให้จุลินทรีย์เจริญได้มาก จากนั้นพืชจึงสามารถดูดซึมมลสารต่างๆ ไปใช้ในการเจริญเติบโตต่อไป

2.2.3 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม

เป็นการนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบต่างๆ มาใช้ร่วมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปจะเป็นการนำเอาพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวกับแบบไหลใต้ผิวตัวกลางมาต่ออนุกรมหรือต่อขนานกัน เนื่องจากการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางอย่างเดียวพบว่ามีการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้น้อยกว่าแบบไหลผ่านพื้นผิว จึงมีการนำเอาพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวมาใช้ร่วมกัน เนื่องจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวมีความสามารถในการถ่ายเทออกซิเจนสูงกว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง นอกจากนี้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวยังสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้ดี สำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางสามารถกรองของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำได้ แต่ถ้ามีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากจะทำให้เกิดการสะสมและอุดตัน จึงมีการนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวมาร่วมเพื่อทำ

การตกตะกอนของแข็งแขวนลอยบางส่วนออกจากน้ำ (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544) จากช่วงระยะเวลาที่ผ่านมามีการนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมมาใช้ โดยนำข้อดีของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางมาใช้ร่วมกัน

Lin et al., (2002) ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวกับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางต่ออนุกรมกัน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย จำนวน 2 บ่อ มีขนาด 1.0 เมตร × 5.0 เมตร เพื่อบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงปลาให้สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้ พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วงร้อยละ 47 – 86 เนื่องจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวช่วยตกตะกอนของแข็งแขวนลอยบางส่วนออก จากนั้นพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางจึงกรองของแข็งแขวนลอยออกอีกครั้ง ส่วนค่าซีโอดีพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมสามารถกำจัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 22 – 55 โดยซีโอดีสามารถกำจัดได้ดีในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว โดยจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ตามพืชจำนวนมากย่อยสลายสารอินทรีย์ ต่อมา Lin et al., (2002) ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวกับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางต่ออนุกรมกันอีกครั้ง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมสามารถกำจัดแอมโมเนีย และฟอสฟอรัสอยู่ในช่วงร้อยละ 86 – 98 และ 32 – 71 ตามลำดับ เนื่องจากการนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และแบบไหลใต้ผิวตัวกลางมาต่ออนุกรมกัน ซึ่งทำให้เกิดทั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันได้ดี และพบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางสามารถดูดซับมลสารต่างๆ ไว้ในตัวกลางได้มากกว่าแบบไหลผ่านพื้นผิว

2.3 ข้อดีและข้อเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง

การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียมีข้อดี คือ สามารถปรับเปลี่ยนพื้นที่ที่จะใช้สร้างพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ได้ง่าย การทดสอบการทำงานเบื้องต้นของระบบไม่ยุ่งยาก การควบคุมและบำรุงรักษาง่าย ระบบมีเสถียรภาพแม้ว่าสภาวะแวดล้อมจะเปลี่ยนแปลงไป ค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการควบคุมดูแลระบบค่อนข้างต่ำ โดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว จะทำให้เกิดความสมดุลของระบบนิเวศและสภาพแวดล้อม เป็นที่อยู่อาศัยและแหล่งอาหารของสัตว์และนกชนิดต่างๆ เป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจและศึกษาทางธรรมชาติ เป็นแหล่งอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพได้ และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวยังสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้โดยการตกตะกอนโดยพืช และการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ออกซิเจน ส่วนพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง เป็นระบบที่แยกน้ำเสียไม่ให้ถูกรบกวนจากแมลงหรือสัตว์ที่ทำให้เกิดโรคมาปนเปื้อน

กับคนได้ และยังสามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยและธาตุอาหารต่างๆ ได้โดยการกรอง และตัวกลางดูดซับเพื่อให้พืชดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโต แต่พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีข้อจำกัดในการใช้ คือ ต้องใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในขั้นที่ 1 หรือ 2 มาก่อน เพราะระบบรับน้ำเสียหรือสารมลพิษที่ไหลเข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้นในปริมาณมากกว่าปกติอย่างกะทันหันไม่ได้มาก และระบบบำบัดจะขึ้นกับสภาวะอากาศ จึงทำให้มีประสิทธิภาพไม่คงที่ ถ้าอากาศหนาวจะมีโอกาสที่ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ยังต้องการพื้นที่มากกว่าในการก่อสร้างระบบ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียชนิดอื่นๆ ทั่วไป นอกจากนี้ปัญหาที่เกิดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว คือ อาจเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุง ส่วนพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางมักเกิดปัญหาการอุดตันของระบบ แต่ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้คล้ายกันในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง คือ ปัญหาในการเริ่มต้นเดินระบบเพื่อให้พืชชนิดต่างๆ มีการเจริญเติบโตตามความต้องการได้ยาก และถ้ามีความแตกต่างกันของพืชที่ใช้ในระบบ จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน (กรมควบคุมมลพิษ และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2546)

2.4 องค์ประกอบของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

2.4.1 พืชในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

พืชมีหน้าที่หลัก คือ สร้างสิ่งแวดล้อมให้กับจุลินทรีย์ โดยที่ใบและลำต้นของพืชช่วยชะลอความเร็วของการไหลของน้ำ ทำให้ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียตกตะกอน และยังเป็นที่เกาะอาศัยของจุลินทรีย์ นอกจากนั้นส่วนของใบ ลำต้น และรากพืชยังสามารถนำออกซิเจนจากชั้นบรรยากาศลงไปสู่ราก จึงทำให้บริเวณรอบๆ รากพืชมีออกซิเจนสำหรับจุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายและทำให้ไนตริฟายอิงแบคทีเรียมีการเจริญได้ดี และสามารถเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544) นอกจากนี้เมื่อพืชเจริญเติบโตและตายลง ใบและลำต้นจะทับถมเหนือพื้นผิวดิน ทำให้เกิดชั้นของซากอินทรีย์วัตถุ จากการที่เกิดการสะสมของมวลสิ่งมีชีวิต ทำให้เป็นที่เกาะอาศัยของจุลินทรีย์ และเป็นแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์ นอกจากนี้พืชสามารถดูดซึมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้อีกด้วย เพื่อไปใช้ในการเจริญเติบโต (Reddy and De Busk, 1987) โดยส่วนต่างๆ ของพืชที่ใช้ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ มีบทบาทต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

พืชในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์จึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และเห็นเด่นชัด สำหรับชนิดของพืชน้ำที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำสามารถแบ่งเป็น พืชใต้น้ำ (Submerged Plant) พืชโผล่พ้นน้ำ (Emerged Plant) พืชลอยน้ำ (Floating Plant) และพืชชายน้ำ (Marginal Plant) แต่ในปัจจุบันนี้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์นิยมใช้พืชโผล่พ้นน้ำ ได้แก่ ธูปฤาษี กก อ้อ และแห้วทรงกระเทียม เป็นต้น ใน

การบำบัดน้ำเสียมากกว่าการใช้พืชลอยน้ำ เนื่องจากพืชลอยน้ำไม่สามารถทนกับอากาศ และศัตรูพืชได้ แต่พืชน้ำจะมีส่วนในการบำบัดน้ำเสียน้อยมาก ซึ่งหน้าที่ของพืชน้ำ คือ เป็นตัวช่วยปรับสภาวะแวดล้อม เพื่อช่วยให้การบำบัดน้ำเสียเป็นไปด้วยดี (จงรักษ์ ผลประเสริฐ, 2543)

ตารางที่ 2.1 บทบาทส่วนต่างๆ ของพืชโผล่พ้นน้ำในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

ส่วนประกอบของพืช	**บทบาทในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย**
ส่วนที่อยู่เหนือน้ำ	- ลดความเข้มของแสง เพื่อลดการเจริญเติบโตของไฟโตแพลงตอน - ลดความเร็วลม เพื่อป้องกันการแขวนลอยของตะกอน - สะสมธาตุอาหาร - ป้องกันอิทธิพลจากสภาพอากาศในฤดูหนาว (ประเทศหนาว) - ช่วยให้ระบบดูสวยงาม
ส่วนที่อยู่ใต้น้ำ	- ลดความเร็วกระแสน้ำ เพื่ออัตราการตกตะกอน ลดการฟุ้งกระจายของตะกอนใต้น้ำ - กรองตะกอนขนาดใหญ่ - เป็นพื้นที่ผิวสำหรับการจับของไบโอฟิล์ม - ปล่อยออกซิเจน เพื่อสังเคราะห์แสง ช่วยเพิ่มการย่อยสลายโดยออกซิเจน - ดูดซับธาตุอาหาร
รากและระบบรากพืชในชั้นตะกอนใต้น้ำ	- ทำให้ผิวตะกอนใต้น้ำถูกกัดเซาะน้อย - ป้องกันการอุดตันของตัวกลางในระบบการไหลในแนวดิ่ง - ปล่อยออกซิเจนเพื่อเพิ่มการย่อยสลาย และการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน - ดูดซับธาตุอาหาร - ปล่อยแอนติไบโอติก

หมายเหตุ จาก Do Macrophytes Play a Role in Constructed Wetlands?, โดย Brix, 1997, Water Science and Technology, 35 (5): 11-17.

เนื่องจากพืชโผล่พ้นน้ำมีบทบาทในการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ แต่ยังมีข้อจำกัดในการใช้ ดังนั้นการเลือกพืชโผล่พ้นน้ำที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็น จึงควรมีคุณสมบัติของพืชโผล่พ้นน้ำที่จะนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำดังนี้ (พัฒนี จันทรโรทัย, 2536)

- ปรับตัวเข้ากับสภาพอากาศและดินได้ดี (ควรเป็นพืชพันธุ์พื้นเมือง)
- ทนต่อสารมลพิษในน้ำเสียได้ดี
- ผลิตมวลชีวะได้มาก
- มีอัตราการสังเคราะห์แสง และเจริญเติบโตได้ตลอดปี
- มีความสามารถในการดูดซึม และเก็บสะสมสารต่างๆ ได้
- ง่ายต่อการจัดการ โดยนำออกจากระบบบ้าง เพื่อไม่ให้พืชอยู่หนาแน่นเกินไป

สำหรับพืชที่เลือกใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นพืชโผล่พ้นน้ำ นั่นคือ ต้นกกรังกา มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Cyperus alternifolius L. (ราชบัณฑิตยสถาน, 2538) ลำต้นสั้นอยู่ใต้ดินมีลักษณะเป็นเหง้า สามารถแตกกอได้ ส่วนของลำต้นอยู่เหนือดินสูงประมาณ 1.0 – 1.5 เมตร ลำต้นมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมที่ค่อนข้างมนกลม ใบเป็นแผ่นบางเป็นกระจุกหุ้มอยู่ที่ส่วนโคนของลำต้น รูปร่างเรียวซ้อนกันเป็นวงประมาณ 20 อัน มีลักษณะเรียวแบนปลายตัด ยาวประมาณ 30 เซนติเมตร กว้างประมาณ 1 เซนติเมตร สีเขียวสด ดอกออกจากโคนต้นตามซอกใบ เป็นช่อดอกเล็กๆ ซ้อนกันสองชั้น ดอกมีขนาดเล็กสีขาวอมเขียว เมื่อต้นแก่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน ก้านช่อดอกสีเขียวอ่อน และมีใบประดับเป็นจำนวนมาก สามารถพบตามที่มีน้ำขัง ริมคลอง และตามที่ลุ่มชื้นแฉะทั่วไป ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ดและการแตกกอ ประโยชน์ของต้นกกรังกาสามารถใช้เป็นสมุนไพรแก้ช้ำใน การตกเลือดจากอวัยวะภายใน แก้ปากเป็นแผล ฯลฯ (สุรชัย มัจฉาชีพ, 2538)

จากที่เลือกใช้ต้นกกรังกา เนื่องจากมีความทนต่อสารพิษ สามารถปรับตัวเข้ากับลักษณะสมบัติของน้ำเสียได้ดี และสามารถเจริญเติบโตและดำเนินกิจกรรมต่างๆ ได้ตลอดการทดลอง นอกจากนี้โครงสร้างของต้นกกรังกาเป็นพืชที่มีเส้นใยที่ไม่เน่าสลายง่าย จึงมีผลน้อยในการก่อให้เกิดการเจือปนของสารอินทรีย์กลับคืนสู่น้ำเสียอีกครั้งหนึ่ง (กิตติ เอกอำพน และสำอาง หอมชื่น, 2529) และต้นกกรังกายังเป็นพืชที่พบได้เกือบทุกแห่งในประเทศไทย สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่พีเอช 5 – 7.5 ส่วนอุณหภูมิ 16 – 26 องศาเซลเซียส และมีความสามารถทนต่อความเค็มได้สูงสุด 20 ppt (กรมควบคุมมลพิษ และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2546)

โดยที่ผ่านมามีผู้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับต้นกกรังกาที่ใช้ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ จากการ ศึกษาของ เกียรติศักดิ์ ปิงกุล และ ศุวศา กานตวนิชกูร (2546) ได้ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม ซึ่งใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกร พบว่าต้นกกรังกาสามารถดูดซึมไนโตรเจนได้ร้อยละ 0.43 – 3.68 ของไนโตรเจนรวม และต้นกกรังกายังมีความทนต่อโลหะหนัก จึงมีการนำต้นกกรังกามาใช้เพื่อกำจัดแคดเมี่ยม และแมงกานีส โดยต้นกกรังกาจะดูดซึมโลหะต่างๆ ไปไว้บริเวณราก (Cheng et al., 2002) ดังนั้นการกำจัดมลสารโดยตรงขึ้นกับความสามารถของรากพืชที่จะดูดซึมสารต่างๆ และกระบวนการทางชีวเคมีภายในพืชเอง

2.4.2 ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

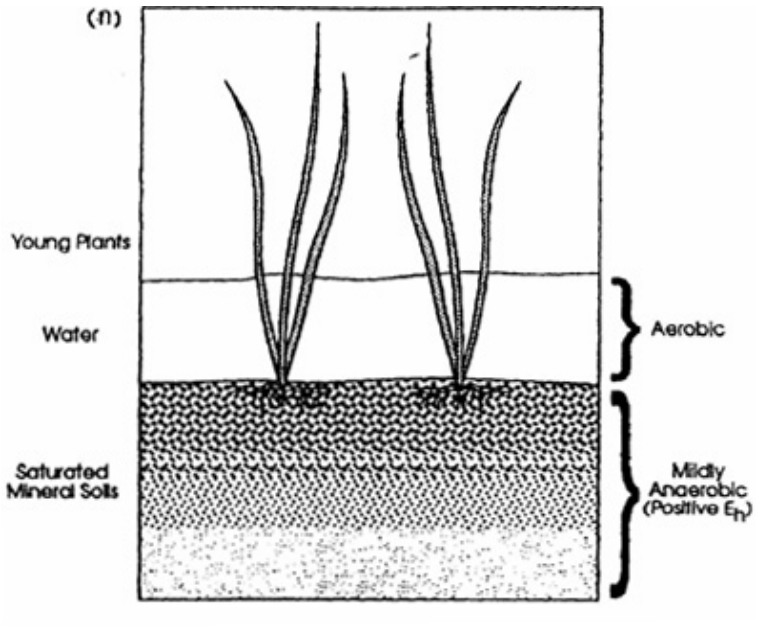
ดินมีส่วนสำคัญสำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ เพราะเป็นตัวหลักในการยึดจับรากของพืช ชั้นของตัวกลางอาจจะเป็นกรวด ทราย ฯลฯ ดินควรจะมีค่าการซึมผ่านต่ำเพียงพอที่จะรักษาระดับน้ำให้คงอยู่ได้ในกรณีที่เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว ถ้าเป็นในกรณีพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางควรรักษาความชื้นไว้ให้เพียงพอต่อความต้องการของสิ่งมีชีวิต

ดินสำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ เป็นดินที่มีความอิ่มตัวของน้ำหรือถูกน้ำท่วมขัง และเป็นดินที่มีการสะสมของสารอินทรีย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 ซึ่งดินในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์จะมีลักษณะทางกายภาพ และเคมี คือ มีความสามารถซึมผ่านของน้ำในดินได้ต่ำไปจนถึงสูง โดยที่ความพรุนของดินสูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ และสามารถรองรับน้ำได้สูง ขณะที่ดินมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่า 20 – 35 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มีมากกว่า 12 – 20 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้จุลินทรีย์ภายในดินมีอาหาร และพลังงานเพียงพอต่อการเจริญ จากลักษณะดังกล่าวข้างต้นสามารถบอกถึงประสิทธิภาพ และความสามารถของดินในการบำบัดหรือลดสารปนเปื้อนในน้ำเสีย (Kedlec and Knight, 1996)

สำหรับตัวกลางที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ ตัวกลางดินปนทราย เนื่องจากเป็นดินเนื้อละเอียด และเป็นตัวกลางที่ดีในการกำจัดฟอสฟอรัส รวมทั้งเป็นที่สะสมธาตุอาหาร และเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งธาตุอาหารไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจะมีโอกาสถูกพืชนำไปใช้ได้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำเสียมากขึ้น แต่ถ้าใช้ตัวกลางเพียงอย่างเดียวจะทำให้ระบบเกิดการอุดตันได้ง่าย เนื่องจากดินมีอนุภาคเล็กมาก และจากการศึกษาของ จิตติมา เชื้อกูล (2539) ใช้ดินปนทรายปลูกพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ พบว่าตัวกลางดินปนทรายสามารถดูดซับฟอสฟอรัสเพื่อให้พืชดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดี ทำให้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 75.7 ส่วนไนโตรเจนสามารถกำจัดได้ร้อยละ 82.1 ซึ่งแสดงว่าการใช้ดินปนทรายเป็นตัวกลางสามารถกำจัดฟอสฟอรัส และไนโตรเจนได้ดี ส่วนการศึกษาของ รัตนา ตรีรัตนภรณ์ (2542) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในการกำจัดแคดเมี่ยมจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยปลูกต้นธูปฤาษีในตัวกลางดินปนทราย พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สามารถบำบัดน้ำเสียได้ตามที่มาตรฐานน้ำทิ้งกำหนด และตัวกลางดินปนทรายสามารถดูดซับแคดเมี่ยมได้ร้อยละ 95.5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินปนทรายสามารถดูดซับแคดเมี่ยมได้

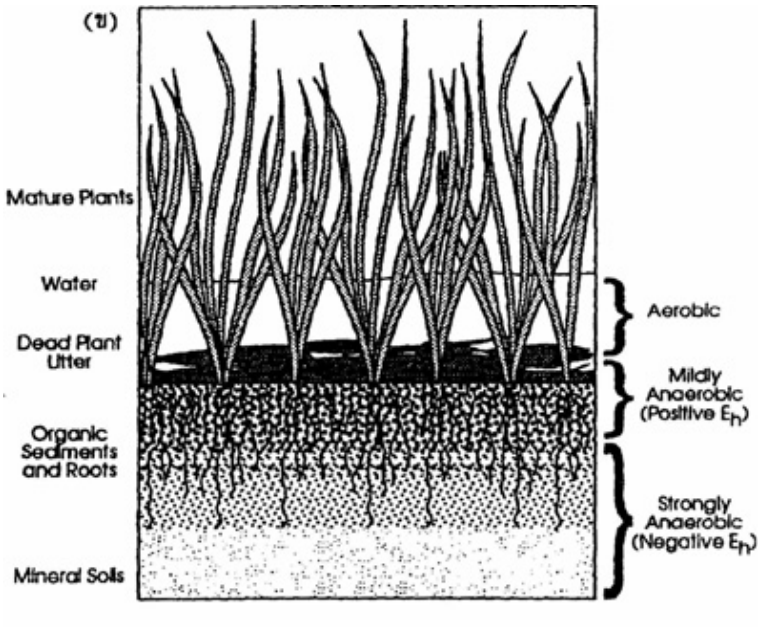
2.4.3 จุลินทรีย์ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ เป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เนื่องจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเจริญ และการสืบพันธุ์ โดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์จะสร้างสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ เพื่อประสิทธิภาพการบำบัดที่ดี ซึ่งจุลินทรีย์ที่พบได้โดยทั่วไป



หมายเหตุ จาก Treatment Wetlands, โดย Kedlec and Knight, 1996, Boca Raton : Lewis.

รูปที่ 2.3 สภาวะของดินในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในช่วงระยะแรก



หมายเหตุ จาก Treatment Wetlands, โดย Kedlec and Knight, 1996, Boca Raton : Lewis.

รูปที่ 2.4 สภาวะของดินในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในช่วงที่ระบบมีการพัฒนาเต็มที่แล้ว

ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ได้แก่ แบคทีเรีย สาหร่าย และโปรโตซัว เป็นต้น แบคทีเรียสามารถแบ่งได้ 2 ชนิดหลัก คือ ชนิดแขวนลอย หมายถึง แบคทีเรียที่มีชีวิตอยู่บนผิวหน้าของน้ำ และชนิดยึดติด (Attached-growth Bacteria) ซึ่งจะเจริญโดยยึดติดกับพื้นผิวของส่วนที่อยู่ใต้น้ำของพืช (ราก ลำต้น) ซากพืช หิน ดินหรือชั้นตะกอนที่อยู่ล่างสุด (Rogers et al., 1985) พวกจุลินทรีย์เหล่านี้จะเปลี่ยนสารปนเปื้อนในน้ำเสียให้เป็นอาหาร และพลังงานเพื่อดำเนินวงจรชีวิต และยังมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการบำบัดเนื่องจากทำให้เกิดกระบวนการต่างๆ คือ การดูดซึม การเปลี่ยนรูป และการหมุนเวียนของสารในน้ำเสีย

2.4.4 การถ่ายเทออกซิเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

ออกซิเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สามารถมีได้ด้วยการดึงออกซิเจนจากบรรยากาศผ่านใบพืชไปยังก้านพืช และค่อยๆ ไปยังรากพืช จนทำให้มีออกซิเจนอยู่ใต้น้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ได้ ซึ่งสามารถวัดได้ 2.08 กรัม ออกซิเจน/ (ตารางเมตร.วัน) (Brix and Schierup, 1990) และ 5 – 12 กรัม ออกซิเจน/ (ตารางเมตร.วัน) ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ที่ใช้กรวด และปลูกด้วยอ้อ (Amstrong et al., 1990) ออกซิเจนปริมาณนี้บางครั้งพบว่าเพียงพอเฉพาะสำหรับการสันดาปของรากเท่านั้น ซึ่งต้องระวังไม่ให้มีตะกอนสะสมอยู่ก้นบ่อมากจนทำให้ออกซิเจนถูกกั้นไม่ให้เข้าไปได้ถึงรากพืช เพราะออกซิเจนเสริมให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดีขึ้น และทำให้ไนตริฟายอิงแบคทีเรียมีการเจริญได้ดี เพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และยังเพิ่มความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของตะกอนด้วย (Cooper and Boon, 1987) แต่บางกรณีพบว่ามีเหลือพอสำหรับจุลินทรีย์รอบๆ ด้วย กลไกการถ่ายเทออกซิเจนในพืชของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์เชื่อว่าเป็นแบบ Passive Molecular Diffusion ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีการส่งผ่านจากส่วนหนึ่งของระบบไปยังอีกส่วนหนึ่ง อันเป็นผลให้มีการเคลื่อนย้ายของโมเลกุลผ่านช่องว่างภายในของพืช (Brix, 1993)

2.4.5 อุณหภูมิในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจะมีผลต่อการทำงานของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนการทำงานบางอย่างของระบบ กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิสูง การระเหย และการคายน้ำของพืชจะมาก ทำให้ความเข้มข้นของมลสารเพิ่มขึ้น จึงต้องมีการทำให้เจือจางก่อนเข้าระบบหรือมีการบำบัดขั้นต้นเพิ่มเติม ส่วนในช่วงอุณหภูมิต่ำมากจนทำให้น้ำเป็นน้ำแข็ง ต้องมีการเติมอากาศเพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำ ป้องกันไม่ให้น้ำแข็งตัว (Girts and Knight, 1989)

กรณีอุณหภูมิสูงอาจทำให้การบำบัดเป็นไปไม่ดี เพราะความร้อนจะทำลายพืชบางชนิดหรือเพิ่มอัตราการย่อยสลายอาหารของแบคทีเรีย ทำให้เกิดการเสียสมดุลย์ของอัตราการลดค่าบีโอดีและออกซิเจนจากบรรยากาศ นอกจากนี้น้ำที่ร้อนขึ้นอาจทำให้น้ำที่ออกจากระบบมีอุณหภูมิสูงกว่ามาตรฐาน แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำอัตราการย่อยสลายจะลดลง และพืชบางชนิดอาจตายได้ ทำให้แบคทีเรีย

ไม่มีที่ยึดเกาะ และไม่มีการไหลซึมของสารประกอบบางอย่างในพืช และถ้าอุณหภูมิลดลงถึงศูนย์องศาเซลเซียสการย่อยสลายจะหยุด (สุวศา กานตวนิชกูร, 2538) และจากการศึกษาของ Griffin et al., (1999) ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียที่มีอุณหภูมิมากกว่า 20 องศาเซลเซียส พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางสามารถกำจัดบีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 81 ขณะที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางสามารถกำจัดบีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 66

2.4.6 ค่าพีเอชในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

ค่าพีเอช มีผลต่อลักษณะทางเคมีของน้ำ และสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ เนื่องจากปฏิกิริยาต่างๆ ในกระบวนการชีววิทยาจะเกิดในช่วงพีเอชที่จำกัด เช่น การบำบัดโดยจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นในพีเอชช่วง 4.0 – 9.5 และการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดยสิ่งมีชีวิตอยู่ในช่วง พีเอช 6.5 – 7.5 แต่จะดีที่สุดในช่วงพีเอชเท่ากับ 7.2 หรือมากกว่า เป็นต้น

นอกจากนี้พีเอชยังเป็นสิ่งสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เช่น อลูมิเนียมฟอสเฟตซึ่งตกตะกอนดีที่สุดที่พีเอช 6.3 ส่วนแอมโมเนียจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียอิสระที่พีเอชสูงมากกว่าพีเอชที่เป็นกลาง และที่อุณหภูมิสูง เป็นต้น ค่าพีเอชของน้ำเข้าควรอยู่ในช่วงไม่เป็นกรดแก่หรือเบสแก่เนื่องจากเป็นช่วงที่เหมาะสม และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (Kadlec and Knight, 1996) ในการศึกษาค่าพีเอชในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว พบว่าถ้าน้ำเข้ามีแนวโน้มพีเอชอย่างไร พีเอชของน้ำออกก็แสดงแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน ส่วนในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางนั้น การเปลี่ยนแปลงของพีเอชของน้ำเข้าเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาระหว่างตัวกลางกับฟิล์มชีวะของตัวกลางมากกว่ากับพืช (Bavor et al., 1995)

2.5 กลไก และประสิทธิภาพในการบำบัดของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

ในระบบบำบัดแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ มลสารต่างๆ จะถูกบำบัดด้วยกระบวนการที่ซับซ้อนมากมาย ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วยการตกตะกอน การดูดซับโดยอนุภาคของดิน การสะสมในพืช และการเปลี่ยนรูปโดยจุลินทรีย์ เป็นต้น กลไกการบำบัดที่สำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สามารถแสดงดังตารางที่ 2.2

2.5.1 การกำจัดสารอินทรีย์

ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ จุลินทรีย์จะมีหน้าที่สำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียทั้งที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำ และเกาะกันอยู่ในรูปของตะกอน โดยสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้จะจมสู่พื้นบ่อเกิดการย่อยสลายแล้วซึมลงดิน ส่วนสารละลายอินทรีย์จะถูกบำบัดโดยจุลินทรีย์ทั้งที่ใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจนที่เกาะติดอยู่กับพืช และที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ส่วนการย่อยสลายใน

สภาวะไร้อากาศจะเกิดขึ้นในช่วงที่ออกซิเจนขาดแคลนหรือเกิดในชั้นตะกอนที่ไม่มีออกซิเจนสารที่ถูกย่อยสลายแล้วจะกลายเป็นปุ๋ยสำหรับพืชดูดซึมไปใช้ประโยชน์ต่อไป ซึ่งการกำจัดสารอินทรีย์ที่สามารถตกตะกอนได้ง่ายจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง โดยจะขึ้นอยู่กับความนิ่งของน้ำ อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ และแหล่งออกซิเจนที่ใช้ในปฏิกิริยาการบำบัดสำหรับกรณีที่เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว ส่วนพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางจะขึ้นอยู่กับปริมาณตะกอนที่สะสมอยู่ในชั้นกรอง และอัตราการซึมของน้ำผ่านชั้นกรอง โดยออกซิเจนสามารถถ่ายเทผ่านได้ง่าย (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544)

ตารางที่ 2.2 กลไกการกำจัดมลสารต่างๆ ในน้ำเสีย

ส่วนประกอบ	พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์	
	แบบไหลผ่านพื้นผิว	**แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง**
สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ทางชีววิทยา	- การเปลี่ยนรูปทางชีววิทยาโดยสภาวะแอโรบิค แฟคัลเททีฟ และแอนแอโรบิค แบคทีเรียที่อาศัยอยู่บนพืช และตะกอนที่ทับถมบนพื้นผิว - กระบวนการดูดติดผิว - การกรอง และตกตะกอน	- การเปลี่ยนรูปทางชีววิทยาโดยสภาวะแอโรบิค แฟคัลเททีฟ และแอนแอโรบิค แบคทีเรียที่อาศัยอยู่บนพืช และตะกอนที่ทับถมบนพื้นผิว - กระบวนการดูดติดผิว - การกรอง
ของแข็งแขวนลอย	- การตกตะกอน - การกรอง	- การกรอง
ไนโตรเจน	- ไนตริฟิเคชัน/ ดีไนตริฟิเคชัน - การดูดซึมโดยพืช - การระเหยเป็นไอ	- ไนตริฟิเคชัน/ ดีไนตริฟิเคชัน - การดูดซับโดยตัวกลาง - การดูดซึมโดยพืช
ฟอสฟอรัส	- การตกตะกอน - การดูดซึมโดยพืช	- การกรอง - การดูดซับโดยตัวกลาง - การดูดซึมโดยพืช
สารอินทรีย์ปริมาณน้อย	- การดูดติดผิว - การย่อยสลายทางชีววิทยา	- การดูดติดผิว - การย่อยสลายทางชีววิทยา

หมายเหตุ จาก Small and Desterilized Wastewater Management Systems. โดย Ron et al., 1998, Singapore: McGraw-Hill.

2.5.2 การกำจัดของแข็งแขวนลอย

โดยทั่วไปพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีระยะเวลาเก็บกักน้ำหลายวัน การลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ มีผลมาจากกระบวนการที่ซับซ้อนหลายกระบวนการ รวมถึงการเคลื่อนย้ายของของแข็งโดยสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ด้วย โดยเฉพาะเมื่อน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีความเร็วของน้ำต่ำ มีพืชปกคลุม มีดินที่เหมาะสมจะช่วยในการกรองและการตกตะกอน การกำจัดของแข็งแขวนลอยของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์เป็นกระบวนการที่ทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น และ Kadlec and Knight (1996) กล่าวว่า ถ้าระยะเวลาเก็บกักน้ำนาน การไหลของน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ค่อนข้างช้า จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนทางกายภาพของของแข็งแขวนลอย นอกจากนี้ความหนาแน่นของพืชจะเพิ่มการจมตัวลงของของแข็งแขวนลอยโดยการตกตะกอน เนื่องจากพืชจะจับของแข็งแขวนลอยไว้ในชั้นตัวกลางที่มีการสะสมของซากพืช และซากสัตว์ ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว ส่วนพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางสามารถกรองของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดเล็กผ่านชั้นของตัวกลาง ซึ่งช่วยป้องกันการปนออกมานอกระบบของของแข็งแขวนลอย

2.5.3 การกำจัดไนโตรเจน

การกำจัดไนโตรเจนของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีหลายกลไก คือ การนำไปใช้โดยพืช การดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนในดิน การระเหยในรูปของแอมโมเนีย กระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งการบำบัดจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ เช่น แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรทโดยไนตริฟายอิงแบคทีเรียในบริเวณที่มีออกซิเจน และไนเตรทจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนโดยดีไนตริฟายอิงแบคทีเรียในบริเวณที่ไม่มีออกซิเจน โดยออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการไนตริฟิเคชันมาจากทั้งการถ่ายเทจากบรรยากาศลงสู่ผิวน้ำ และที่ซึมผ่านจากรากพืช (กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ, 2544)

โดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ มีการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนซึ่งจะเกิดในชั้นออกซิไดซ์และรีดิวซ์ของตัวกลางหรือผิวหน้าของรากฝอย และส่วนของพืชที่จมอยู่ใต้ตัวกลางนั้น สารอินทรีย์ไนโตรเจนจะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียในการออกซิไดซ์และรีดิวซ์ของชั้นตัวกลาง โดยที่ชั้นของการออกซิไดซ์และส่วนที่อยู่ใต้ตัวกลางของพืชเป็นตำแหน่งสำคัญสำหรับไนตริฟิเคชันที่แอมโมเนียเปลี่ยนเป็นไนไตรท์โดยแบคทีเรีย และเปลี่ยนเป็นไนเตรทในที่สุดโดยแบคทีเรียที่ระดับพีเอชสูง แอมโมเนียจะอยู่ในรูปก๊าซแอมโมเนีย และสูญหายไปในบรรยากาศโดยกระบวนการระเหย ไนเตรทในชั้นรีดิวซ์จะลดลงโดยผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน การกรองและบางส่วนถูกพืชดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตต่อไป (วิทิต ขอสันติวิวัฒน์, 2545)

2.5.4 การกำจัดฟอสฟอรัส

การกำจัดฟอสฟอรัสของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ คือ การตกตะกอนผลึก การดูดซับโดยตัวกลาง และการดูดซึมโดยพืช ซึ่งส่วนใหญ่การกำจัดฟอสฟอรัสเกิดขึ้นที่ชั้นของตัวกลาง ถ้าหากตัวกลางมีส่วนผสมของเหล็ก อลูมิเนียม และแคลเซียม จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดให้ดียิ่งขึ้น เมื่อตัวกลางดูดซับฟอสฟอรัสไว้พืชจะดูดซึมผ่านทางราก และนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ต่อไป ถ้าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีระยะเวลาเก็บกักน้ำที่นาน และชั้นตัวกลางเป็นดินที่มีเนื้อละเอียด กลไกหลักที่เกิดขึ้น คือ การดูดติดผิวแล้วตกตะกอน เนื่องจากในกรณีดังกล่าวฟอสฟอรัสจะมีเวลาสัมผัส และดูดซับเข้าไปในตัวกลางได้มากขึ้น โดยฟอสฟอรัสที่ยึดติดกับตัวกลางในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แล้วจากนั้นจะเกิดการดูดซับ และตกตะกอนผลึกกับแคลเซียม อลูมิเนียม และเหล็กที่พีเอชมากกว่า 6 ทำให้เกิดปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างการดูดติดผิวกับเหล็ก อลูมิเนียมออกไซด์ และตกตะกอนในรูปของแคลเซียมฟอสเฟตซึ่งละลายน้ำได้น้อยมาก และเมื่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เก็บอยู่ในดินมากขึ้น ตัวกลางจะถูกขุดลอกออกมาเพื่อนำไปบำบัดด้วยวิธีที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งตัวกลางในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์จะสามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้ แต่ความสามารถจะแตกต่างกันไป ปริมาณการสะสมอาจเกิดได้ไม่เท่ากัน ซึ่งในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางอาจใช้ตัวกลางที่ช่วยให้เกิดการสะสมฟอสฟอรัสได้มากขึ้นได้ (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544)

2.6 เกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และแบบไหลใต้ผิวตัวกลางมักคำนึงถึงระยะเวลาเก็บกักน้ำ ความลึกของน้ำ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และอัตราภาระบรรทุกชลศาสตร์ ตารางที่ 2.3 เป็นการรวบรวมเกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ทั้งแบบไหลผ่านพื้นผิว และแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง

2.6.1 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (Hydraulic Retention Time, HRT)

มีหน่วยเป็น วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ใช้จะกำหนดโดยตั้งสมมุติฐานว่ามีการกวนสมบูรณ์หรือเป็นปลั๊กโฟลว์ (Plug Flow) ซึ่งในสภาพจริงจะไม่พบทั้ง 2 กรณี การหาค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำที่แท้จริงทำได้ยาก เพราะการไหลในระบบจะซับซ้อน เนื่องจากมีพืชเจริญเติบโตอยู่ และพืชจะไปแทนที่ปริมาตรน้ำจำนวนหนึ่งด้วย (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2538)

2.6.2 อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR)

มีหน่วยเป็น กิโลกรัม/ (เฮกแตร์.วัน) เช่น ค่าบีโอดี เป็น กิโลกรัม บีโอดี/ (เฮกแตร์.วัน) เป็นมวลของสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบต่อหน่วยพื้นที่ผิวของระบบต่อหน่วยวัน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราการไหล และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

ในทางปฏิบัติอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการกระจาย น้ำเสียเข้าสู่ระบบ เพื่อเลี่ยงการเกิดกลิ่นเนื่องจากภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ไม่สม่ำเสมอ น้ำเสียควรกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งบ่อ (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2538)

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

รายละเอียด	แบบจำลอง		ที่มา
	แบบไหลผ่านพื้นผิว	แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง	
ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (วัน)	5 – 14	2 – 7	Crites (1994)
	4 – 15	4 – 15	Metcalf and Eddy (1991)
อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กิโลกรัม บีโอดี/ (เฮกแตร์.วัน))	< 80	< 75	Crites (1994)
	< 67	< 67	Metcalf and Eddy (1991)
	< 110	< 133	Reed et al. (1988)
อัตราภาระบรรทุกชลศาสตร์ (มิลลิเมตร/ วัน)	7 – 60	-	Crites (1994)
	14 – 47	14 – 47	Metcalf and Eddy (1991)
อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง	2:1 – 10:1	2:1 – 10:1	Crites (1994)
	≥ 10:1	≥ 10:1	Metcalf and Eddy (1991)
	> 10:1	> 10:1	Reed et al. (1988)
ระดับน้ำ (เมตร)	0.1 – 0.5	-	Crites (1994)
	0.1 – 0.6	0.3 – 0.8	Metcalf and Eddy (1991)
	0.1 – 0.45	-	Reed et al. (1988)

หมายเหตุ จาก Constucted Wetland for Wastewater Treatment and Resource Recovery, โดย Poh-Eng and Polprasert, 1996, Bangkok: AIT.

2.6.3 อัตราภาระบรรทุกชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate, HLR)

มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/ (ตารางเมตร.วัน) เป็นปริมาตรของน้ำที่เติมต่อวันต่อพื้นที่ผิวของระบบ ปกติแล้วระบบพืชน้ำจะดำเนินแบบไหลต่อเนื่อง เป็นผลให้ภาระบรรทุกทางน้ำไม่ใช้เป็นพารามิเตอร์ในการออกแบบ (สุวศา กานตวนิชกูร, 2538)

2.6.4 ความลึกของน้ำ (Water Depth)

ความลึกของน้ำมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวเท่านั้นระดับน้ำจะเป็นปัจจัยหลักในการเลือก และบำรุงรักษาพืชในระบบ เพราะพืชบางชนิดต้องการที่จะอยู่ในน้ำตื้นไปจนถึงระดับที่ลึกขึ้นตามแต่ชนิดของพืช (Gearheart, 1992)

2.7 สรุป

จากที่กล่าวมาแล้ว ในบทนี้อธิบายถึงพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ซึ่งเป็นระบบที่สร้างขึ้นเลียนแบบพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ โดยอาศัยพืช ดิน และจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสีย พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีระดับน้ำลึกไม่มากนัก และมีการปลูกพืชน้ำ ภายในจะใช้กรวด หิน และทรายเป็นที่ให้พืชเจริญเติบโตแทนที่จะใช้ดินเหนียว เพราะต้องการให้น้ำเสียได้ไหลผ่านชั้นกรวดหินทรายได้สะดวกไม่อุดตัน พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบนี้เรียกว่า พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง นอกจากนี้ยังมีพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว จะมีลักษณะระบบที่มีพืชต่างๆ เจริญเติบโตภายใต้สภาวะที่มีน้ำท่วมขังอยู่ โดยพืชจะเจริญเติบโตเกือบเต็มพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์นี้ บริเวณส่วนก้นพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์อาจมีชั้นดินเหนียวรองรับไม่ให้น้ำเสียไหลซึมลงด้านล่างได้

พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์จัดว่าเป็นกระบวนการหนึ่งที่นำมาบำบัดน้ำเสีย เพราะเป็นวิธีที่ประหยัด มีการดูแลรักษาระบบง่าย และการออกแบบก่อสร้างไม่ซับซ้อน เป็นต้น การทำให้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ดีต้องอาศัยองค์ประกอบต่างๆ คือ พืชน้ำ ดิน จุลินทรีย์ ฯลฯ ซึ่งมีความสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ นอกจากนี้ปัจจัยพวกอุณหภูมิ และค่าพีเอชในน้ำ จะมีผลต่อการบำบัดน้ำเสียด้วย โดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สามารถลดค่าบีโอดี ของแข็งแขวนลอย และไนโตรเจนได้ดี กลไกพื้นฐานที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การตกตะกอน การทำปฏิกิริยากันระหว่างจุลินทรีย์กับบีโอดี ของแข็งแขวนลอยหรือไนโตรเจน และการดูดซึมสารต่างๆ เข้าไปในพืช ในการบำบัดน้ำเสียต้องพิจารณาหลักเกณฑ์การออกแบบก่อน เช่น ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ซึ่งสำคัญสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ ความลึกจะสำคัญต่อรากพืชเพราะมันเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ การพิจารณาหลักเกณฑ์การออกแบบ เพื่อจะได้สามารถออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ให้ถูกต้องเหมาะสม และนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียให้ได้คุณภาพที่ดี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว และแบบผสม เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย โดยมีขั้นตอนการศึกษาวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 สถานที่ทำการศึกษาวิจัย

บริเวณระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ แบบบ่อผึ่ง (Oxidation Pond) ในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา

3.2 ระยะเวลาทำการศึกษาวิจัย

ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 9 เดือน ตั้งแต่เดือน เมษายน ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2546

3.3 การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ของการศึกษาวิจัย

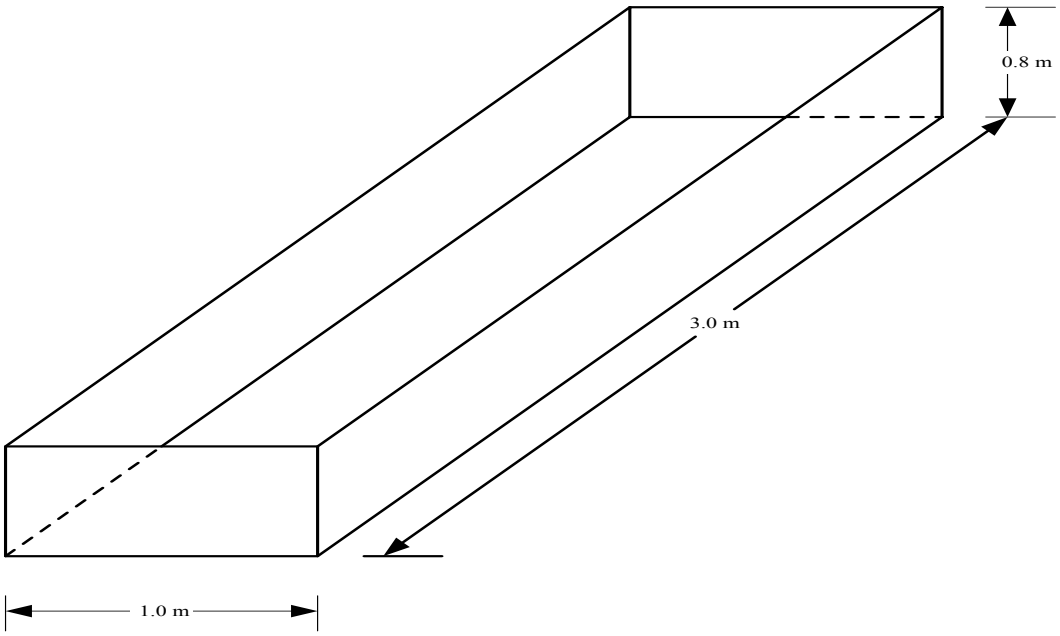
พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยวประกอบด้วยบ่อมีขนาดกว้าง × ยาว × ลึก เท่ากับ 1.0 เมตร × 3.0 เมตร × 0.8 เมตร จำนวน 2 บ่อ แสดงดังรูปที่ 3.1 ส่วนแบบผสมประกอบด้วยบ่อที่มีขนาดเท่ากับแบบเดี่ยวจำนวน 2 บ่อ แต่จะทำการกั้นระหว่างกึ่งกลางของแต่ละบ่อ เพื่อแบ่งพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งความยาวของแต่ละแบบใน 1 บ่อทดลอง มีขนาดกว้าง × ยาว × ลึก เท่ากับ 1.0 เมตร × 1.5 เมตร × 0.8 เมตร แสดงดังรูปที่ 3.2 และในการศึกษานี้มีการกำหนดระยะเวลาเก็บกักน้ำ แล้วจึงนำมาคำนวณหาค่าอัตราการไหลของระบบต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว (Reed et al., 1996)

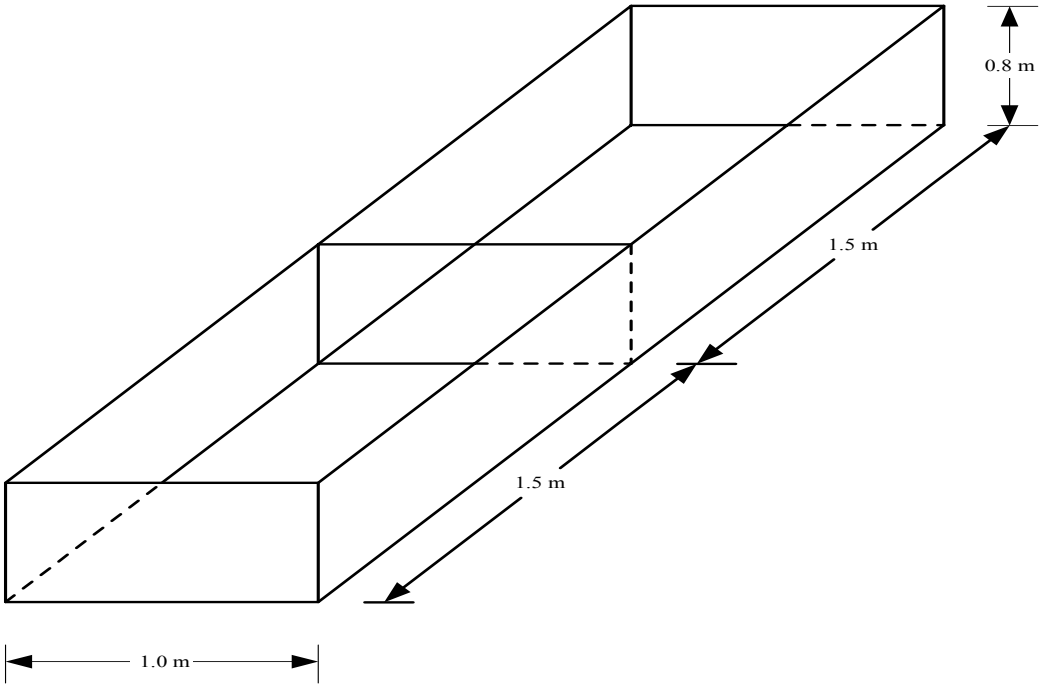
$$Q = \frac{LW[d_n n + d_w]}{t} \qquad (3.1)$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำ (ลูกบาศก์เมตร /วัน)

L = ความยาวของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (เมตร)



รูปที่ 3.1 แบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว



รูปที่ 3.2 แบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม

โดยที่ W = ความกว้างของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (เมตร)

d_n = ความลึกของชั้นดิน (เมตร)

d_w = ความลึกของน้ำ (เมตร)

n = อัตราส่วนช่องว่างดิน

t = ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (วัน)

- พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง (Metcalf and Eddy, 1991)

$$Q = \frac{LWd\alpha}{t'} \quad (3.2)$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำ (ลูกบาศก์เมตร /วัน)

L = ความยาวของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (เมตร)

W = ความกว้างของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (เมตร)

d = ความลึกของน้ำ (เมตร)

α = อัตราส่วนช่องว่างดิน

t′ = ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (วัน)

จากการคำนวณอัตราการไหลของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบต่างๆ สามารถแสดงค่าการออกแบบแบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.1

3.4 ขั้นตอนการจัดตั้งระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ของการศึกษาวิจัย

ผลจากการคำนวณการออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ นำค่าต่างๆ มาจัดตั้งระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว และแบบผสม ดังต่อไปนี้

3.4.1 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว

- แบบที่ 1 เรียกว่า พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว (Free Water Surface Flow Constructed Wetland; FWS) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 บ่อที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยการนำหินที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด ¾ นิ้ว และดินปนทราย ใส่ลงในแบบจำลองให้มีระดับความสูง 0.1 เมตร และ 0.3 เมตร ตามลำดับ โดยมีอัตราส่วนช่องว่างเท่ากับ 0.47 และปรับระดับพื้นบ่อให้ราบเรียบสม่ำเสมอ

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดการทดลองในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบต่างๆ

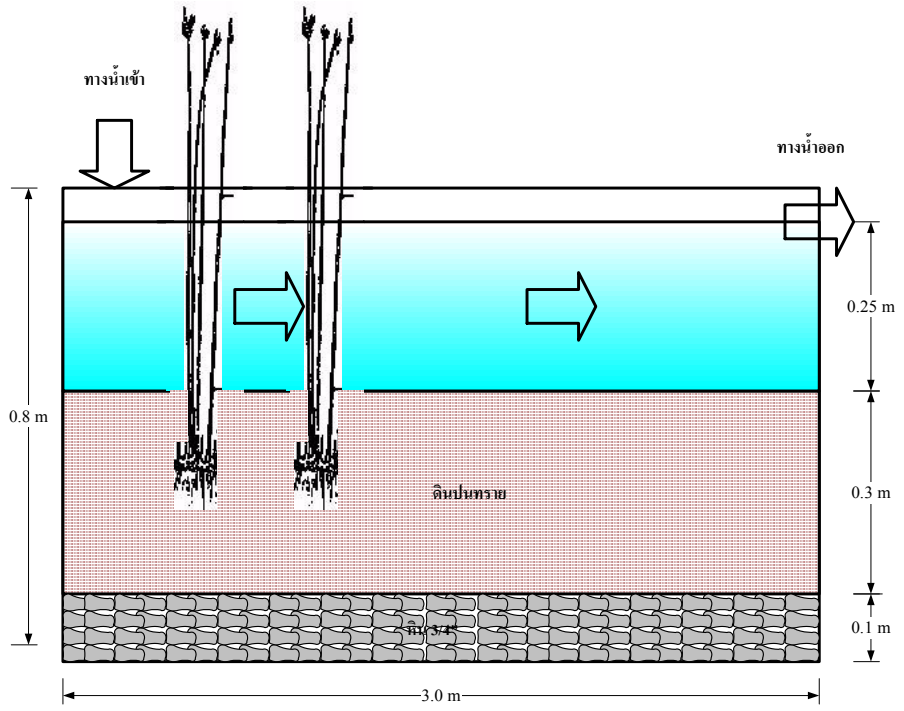
พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์		ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (วัน)	อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตร/วัน)	อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง
แบบเดี่ยว	FWS	8	0.16	3 : 1
		10	0.13	3 : 1
		12	0.11	3 : 1
	SF	8	0.13	3 : 1
		10	0.10	3 : 1
		12	0.09	3 : 1
แบบผสม	FWS-SF	5	0.23	3 : 1
	SF-FWS	5	0.23	3 : 1

- แบบที่ 2 เรียกว่า พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง (Subsurface Flow Constructed Wetland; SF) ดังแสดงในรูปที่ 3.4 บ่อที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ โดยนำหินที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 1 นิ้ว ใส่ลงในแบบจำลอง อยู่บริเวณช่วงต้น และช่วงท้ายของแบบจำลอง โดยมีความกว้างของชั้นหินเท่ากับ 0.2 เมตร ส่วนบริเวณที่ทำการปลูกพืชใส่ดินปนทรายผสมกรวดมีอัตราส่วนช่องว่างเท่ากับ 0.53 โดยระดับความสูงของชั้นหิน และชั้นดินเท่ากับ 0.7 เมตร

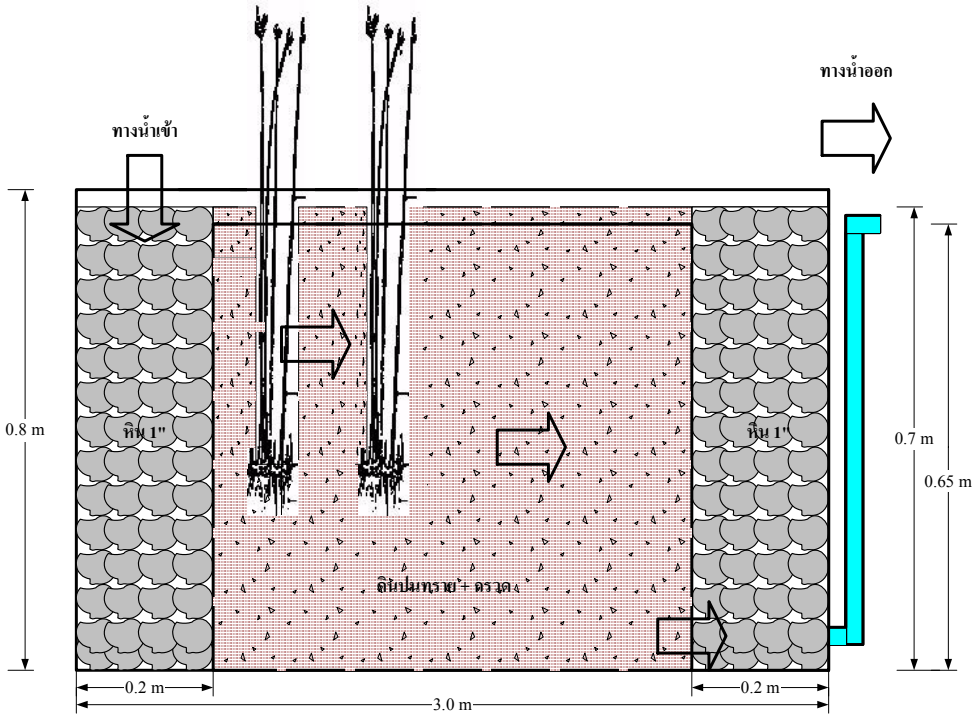
3.4.2 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม

- แบบที่ 1 เรียกว่า พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว – ไหลใต้ผิวตัวกลาง (Free Water Surface Flow – Subsurface Flow Constructed Wetland; FWS – SF) โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ส่วนแรกของแบบจำลองจะเป็นแบบไหลผ่านพื้นผิว โดยนำหินที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด ¾ นิ้ว และดินปนทราย ใส่ลงในแบบจำลองให้มีระดับความสูง 0.1 และ 0.3 เมตร ตามลำดับ โดยมีอัตราส่วนช่องว่างเท่ากับ 0.47 และปรับพื้นบ่อให้ราบเรียบสม่ำเสมอ

ในส่วนหลังเป็นแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง โดยนำหินที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 1 นิ้ว ใส่ลงในแบบจำลอง ซึ่งอยู่บริเวณช่วงต้น และช่วงท้ายของแบบจำลองส่วนหลัง โดยมีความกว้างของชั้นหินเท่ากับ 0.1 เมตร ส่วนบริเวณที่ทำการปลูกพืชใส่ดินปนทรายผสมกรวด ซึ่งมีอัตราส่วนช่องว่างเท่ากับ 0.53 โดยระดับความสูงของชั้นหิน และชั้นดินเท่ากับ 0.7 เมตร



รูปที่ 3.3 รูปตัดตามขวางพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิว



รูปที่ 3.4 รูปตัดตามขวางพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง

- แบบที่ 2 เรียกว่า พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง – ไหลผ่านพื้นผิว (Subsurface Flow – Free Water Surface Flow Constructed Wetland; SF – FWS) โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยส่วนแรกของแบบจำลองจะเป็นแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง โดยใช้หินที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 1 นิ้ว ใส่ในแบบจำลอง อยู่บริเวณช่วงต้นและช่วงท้ายของแบบจำลองส่วนแรก โดยมีความกว้างของชั้นหินเท่ากับ 0.1 เมตร ส่วนบริเวณที่ทำการปลูกพืชใส่ดินปนทรายผสมกรวด ซึ่งมีอัตราส่วนช่องว่างเท่ากับ 0.53 โดยระดับความสูงของชั้นหิน และชั้นดินเท่ากับ 0.7 เมตร

ในส่วนหลังของแบบจำลองเป็นแบบไหลผ่านพื้นผิว โดยใช้หินที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด ¾ นิ้ว และดินปนทราย ใส่ลงในแบบจำลองให้มีระดับความสูง 0.1 และ 0.3 เมตร ตามลำดับ โดยมีอัตราส่วนช่องว่างเท่ากับ 0.47 และปรับระดับพื้นบ่อให้ราบเรียบสม่ำเสมอ

3.5 การเตรียมพืช

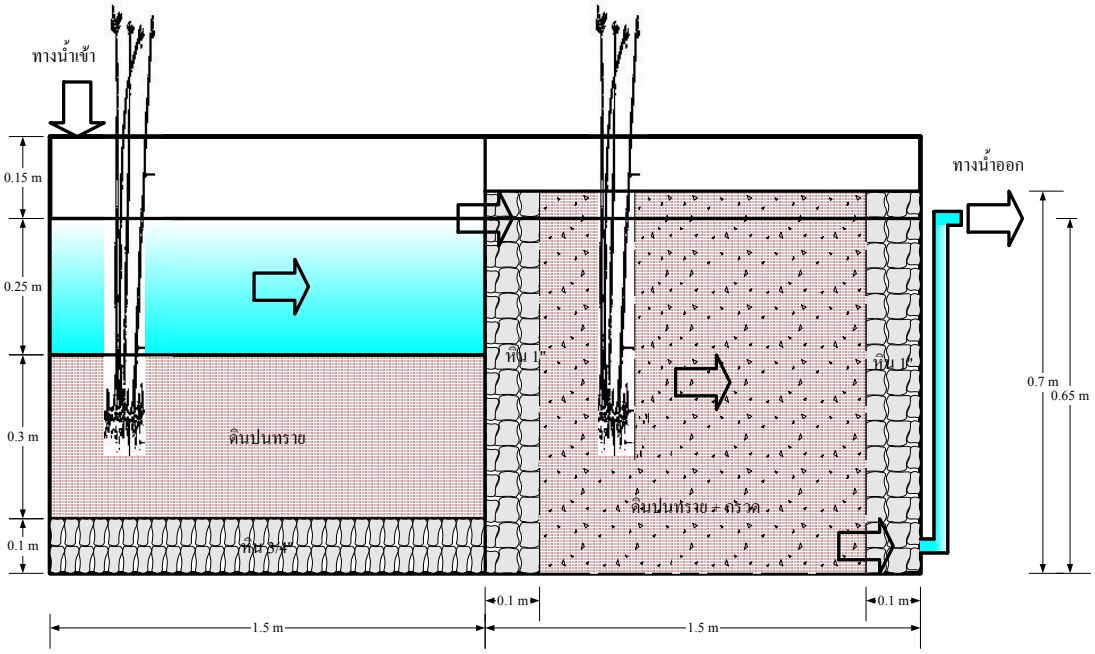
พืชที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ ต้นกกรังกา (Cyperus alternifolius L.) โดยทำการคัดเลือกพืชที่มีขนาดใกล้เคียงกัน แล้วนำมาปลูกในแบบจำลองโดยมีระยะปลูกระหว่างต้นห่างกัน 0.15 เมตร มีความหนาแน่นเท่ากับ 45 ต้น/ ตารางเมตร โดยทิ้งช่วงระยะเวลาให้พืชพักตัวในแบบจำลองก่อนเริ่มการทดลองประมาณ 2 – 3 สัปดาห์

3.6 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

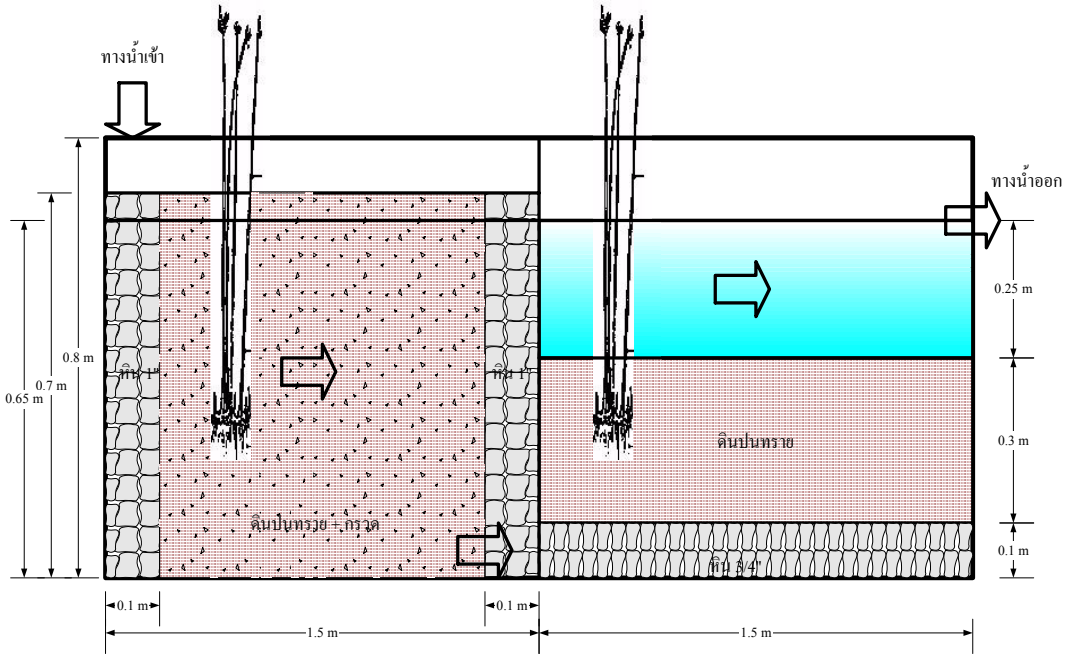
น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัย เป็นน้ำเสียชุมชนก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา น้ำเสียที่ได้จากหอพักนักศึกษา เรือนพักบุคลากร และอาคารต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งทำการวิเคราะห์ตลอดระยะเวลาทำการทดลองเป็นเวลา 9 เดือน ตั้งแต่เดือน เมษายน ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2546

ตารางที่ 3.2 ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	หน่วย	ช่วงค่า	ค่าเฉลี่ย	n
COD	มิลลิกรัม/ ลิตร	35 – 92	64.0	15
BOD	มิลลิกรัม/ ลิตร	3 – 18	8.2	15
TKN	มิลลิกรัม/ ลิตร	8 – 36	20.0	15
TP	มิลลิกรัม/ ลิตร	7 – 21	13.9	15
TSS	มิลลิกรัม/ ลิตร	3 – 8	5.8	15



รูปที่ 3.5 รูปตัดตามขวางพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม แบบไหลผ่านพื้นผิว – ไหลใต้ผิวตัวกลาง



รูปที่ 3.6 รูปตัดตามขวางพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง – ไหลผ่านพื้นผิว

3.7 การดำเนินการทดลอง

หลังจากทิ้งช่วงระยะเวลาพักระบบประมาณ 2 – 3 สัปดาห์ จึงค่อยๆ เริ่มปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบทดลอง โดยน้ำเสียจะปล่อยเข้าระบบทดลองแบบต่อเนื่อง ส่วนพืชก่อนเริ่มการทดลองได้ทำการตัดต้นพืชให้มีขนาดความสูงเท่ากันหมดทุกการทดลอง เพื่อให้พืชเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ โดยเริ่มศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดมลสารต่างๆ จากน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และแบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 10 และ 8 วัน ตามลำดับ

ศึกษารูปแบบการจัดลำดับก่อน – หลังของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ซึ่งการเลือกกำจัดมลสารต่างๆ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน เนื่องจากการศึกษาของ Lin et al. (2002) ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมโดยการนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และแบบไหลใต้ผิวตัวกลางมาต่ออนุกรมกัน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และของแข็งแขวนลอยที่ช่วงระยะเวลาเก็บกักน้ำ 1.7 – 12.8 วัน ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงเลือกระยะเวลาเก็บกักน้ำเท่ากับ 5 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาเก็บกักน้ำที่อยู่ในช่วงดังกล่าวข้างต้น

ในการศึกษาแต่ละครั้งได้เก็บตัวอย่างน้ำ และพืช โดยมีขั้นตอนดังนี้

- การเก็บตัวอย่างน้ำ ในแต่ละการทดลองได้เก็บตัวอย่างน้ำที่เข้า – ออกของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบต่างๆ

- การเก็บตัวอย่างพืช ในแต่ละการทดลองได้ศึกษาอัตราการเจริญเติบโต โดยการวัดระดับความสูง และน้ำหนักแห้งที่เปลี่ยนแปลงของต้นกกรังกาในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบต่างๆ

3.8 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.8.1 ตัวอย่างน้ำเสีย ทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย โดยลักษณะสมบัติ และวิธีวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

3.8.2 ตัวอย่างพืช ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของพืช โดยการวัดความสูง และชั่งน้ำหนักแห้งของพืชที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบต่างๆ

ตารางที่ 3.3 วิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสีย

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	วิธีวิเคราะห์
COD	Open Reflex Method
BOD_5	Dilution Method
TSS	Total Suspended Solids Dried at 103°C
TKN	Macro Kjeldahl Method
TP	Digestion / Colorimetric Method โดย Vanadomolybdophosphoric Acid Method
pH	pH Meter ยี่ห้อ Metrohm รุ่น 744
Temperature	pH Meter ยี่ห้อ Metrohm รุ่น 744

หมายเหตุ จาก Standard Method for Examination of Water and Wastewater (19th edition), โดย APHA, AWWA and WPCF. 1995, Washington D.C.: American Public Health Association.

3.9 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจากประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชั่น 11.0 โดยทำการศึกษาดังนี้

3.9.1 ศึกษาระยะเวลาเก็บกักน้ำที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One – way ANOVA

3.9.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวกับแบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 10 และ 12 วัน นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One – way ANOVA

3.9.3 ศึกษารูปแบบการจัดลำดับก่อน – หลังของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One – way ANOVA

บทที่ 4
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ จากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเข้า และน้ำออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว และแบบผสมตลอดระยะเวลาทำการทดลอง โดยพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ ของแข็ง ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส รวมทั้งทำการตรวจวัดพารามิเตอร์อื่นๆ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย พบว่าผลการศึกษามีดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว

4.1.1 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิว (FWS)

จากการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำเสียเข้าสู่ระบบเฉลี่ยอยู่ในช่วง 22.3 – 27.2 องศาเซลเซียส และค่าพีเอชเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.0 – 7.4 ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 10 และ 12 วัน เท่ากับ 20.5 24.7 และ 26.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ขณะที่ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 10 และ 12 วัน เท่ากับ 7.3 7.2 และ 7.0 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ย และพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และการเจริญของจุลินทรีย์ Reed (1980) กล่าวว่าอุณหภูมิ และค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 16.0 – 27.0 องศาเซลเซียส และ 4.0 – 9.0 ตามลำดับ ซึ่งทำให้พืชสามารถดูดซึมธาตุอาหารต่างๆ ได้อย่างดี และจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้เต็มที่

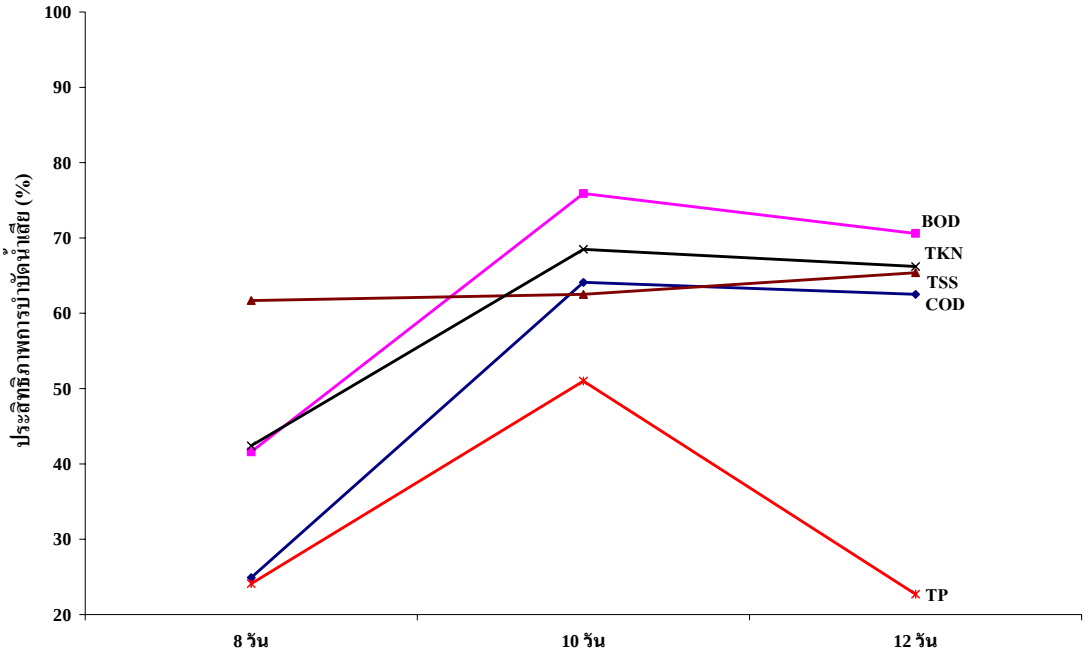
จากการศึกษาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 10 และ 12 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่ามีค่าสูงสุดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน สำหรับค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี ในรูปบีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 64.1 75.9 68.5 และ 51.0 ตามลำดับ ยกเว้น ของแข็งในรูปของแข็งแขวนลอย จะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งในรูปของแข็งแขวนลอยดีที่สุดคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 65.4 ซึ่งเนื่องจากมีระยะเวลาเก็บกักน้ำที่นานมากขึ้น ทำให้เกิดการตกตะกอน และการกรองของแข็งในรูปของแข็งแขวนลอยได้ดียิ่งขึ้น (Vymazal, 1998) สำหรับค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี ในรูปบีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว

แบบ FWS ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 10 และ 12 วัน ให้ผลการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยทดสอบทางสถิติด้วยวิธี One – way ANOVA ดังแสดงในตารางที่ 1ข (ภาคผนวก ข.) เนื่องมาจากปริมาณอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน เท่ากับ 5.2 กิโลกรัม บีโอดี/ (ตารางเมตร.วัน) ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 และ 12 วัน มีค่าเท่ากับ 3.1 และ 2.5 กิโลกรัม บีโอดี/ (ตารางเมตร.วัน) ตามลำดับ จึงทำให้ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน มีอาหารเพียงพอสำหรับจุลินทรีย์ และสามารถเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ในการย่อยสลายได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ (Katrin and Sabine, 1997) และจากการศึกษาของ จิตติมา เชื้อกูล (2545) และพิรัฐพล ตนานนท์ (2544) พบว่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสม จะมีผลต่อประสิทธิภาพการนำสารอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์ของจุลินทรีย์มากขึ้น

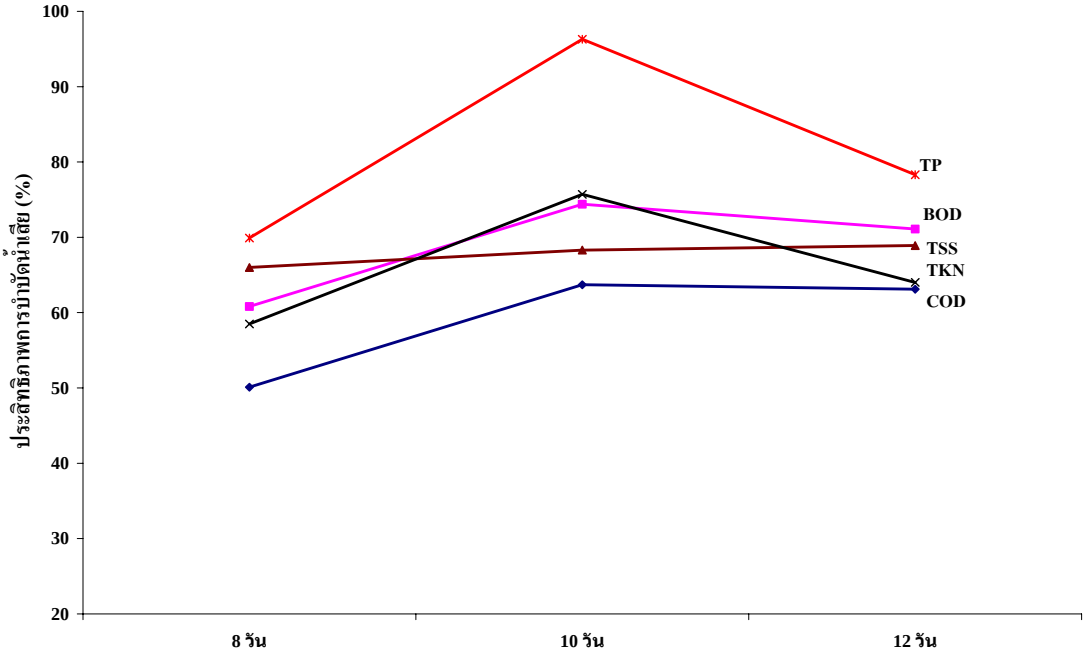
4.1.2 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง (SF)

จากการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำเสียเข้าสู่ระบบเฉลี่ยอยู่ในช่วง 22.3 – 27.2 องศาเซลเซียส และค่าพีเอชเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.0 – 7.4 ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 10 และ 12 วัน เท่ากับ 21.5 25.4 และ 27.3 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ขณะที่ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 10 และ 12 วัน เท่ากับ 7.1 6.9 และ 6.8 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ย และพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และการเจริญของจุลินทรีย์

จากการศึกษาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 10 และ 12 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่ามีค่าสูงสุดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน สำหรับค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี ในรูปบีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 63.7 74.4 75.7 และ 96.3 ตามลำดับ ยกเว้น ของแข็งในรูปของแข็งแขวนลอย จะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพกากำจัดของแข็งในรูปของแข็งแขวนลอยดีที่สุดคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 68.3 อาจเนื่องมาจากตัวกลางสามารถกรองของแข็งในรูปของแข็งแขวนลอยได้ดีขึ้น เมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำเพิ่มขึ้น (Vymazal, 1998) สำหรับค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 10 และ 12 วัน ให้ผลการทดลองแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยทดสอบทางสถิติด้วยวิธี One – way ANOVA ดังแสดงในตารางที่ 2ข (ภาคผนวก ข.) จากการศึกษาของ โสมนัส สมประเสริฐ และศุวศา กานตวนิชกูร (2545) กล่าวว่ากลไกหลักในการกำจัดฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำของระบบคือการตกตะกอนผลึก โดยเหล็ก อลูมิเนียม และแคลเซียมบริเวณผิวของตัวกลาง ซึ่งมีประจุเป็นบวกจะยึดเกาะกับประจุลบของฟอสฟอรัสเกิดเป็นสารประกอบของฟอสฟอรัส และตกตะกอนอยู่ในชั้นของ



รูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่าน พื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ



รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิว ตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ

ตัวกลาง เมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้นประจุบวกอิสระจะเหลือน้อยลง ดังนั้นที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสลดลง เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปมีแนวโน้มทำให้ตัวกลางเกิดการอุดตันได้ จึงมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสของตัวกลาง

4.1 การเปรียบเทียบของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิว และแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และแบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ โดยการเปรียบเทียบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS กับแบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 4.3 รูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 ซึ่งมีผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

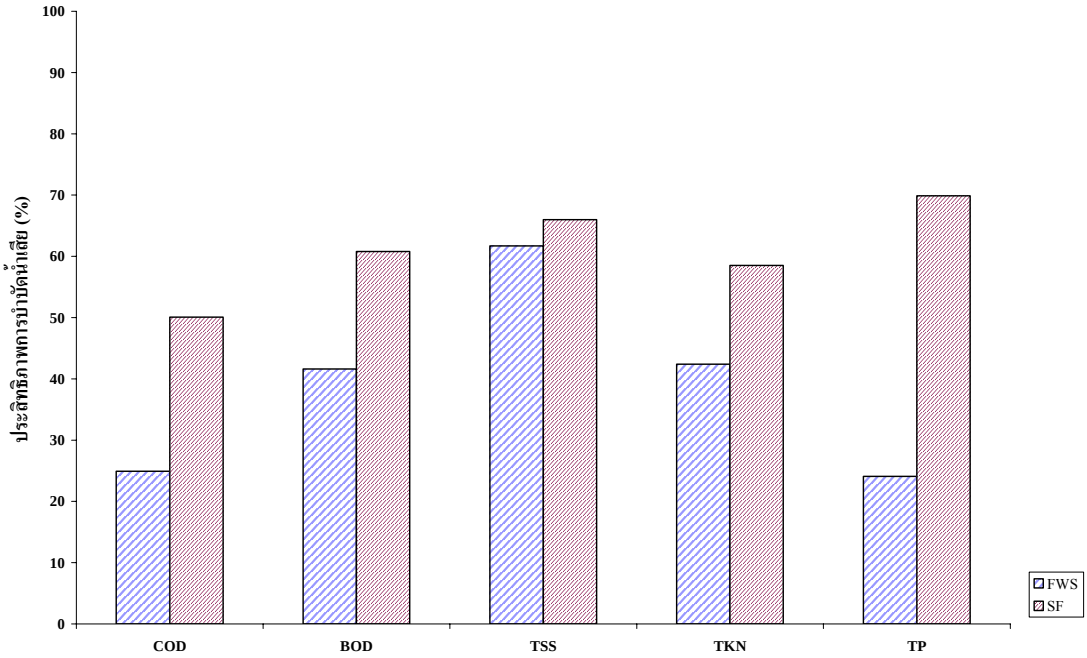
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว

ลักษณะน้ำเสีย	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย* (%)					
	8 วัน		10 วัน		12 วัน	
	FWS	SF	FWS	SF	FWS	SF
COD	24.9 ± 9.5	50.1 ± 15.7	64.1 ± 13.1	63.7 ± 13.9	62.5 ± 11.1	63.1 ± 16.9
BOD	41.6 ± 18.7	60.8 ± 14.0	75.9 ± 14.3	74.4 ± 16.5	70.6 ± 12.7	71.1 ± 11.2
TSS	61.7 ± 17.5	66.0 ± 19.6	62.5 ± 12.3	68.3 ± 7.2	65.4 ± 17.0	68.9 ± 10.5
TKN	42.4 ± 10.2	58.5 ± 9.9	68.5 ± 14.5	75.7 ± 7.5	66.2 ± 16.7	64.0 ± 12.5
TP	24.1 ± 8.9	69.9 ± 13.7	51.0 ± 11.8	96.3 ± 5.5	22.7 ± 9.7	78.3 ± 2.8

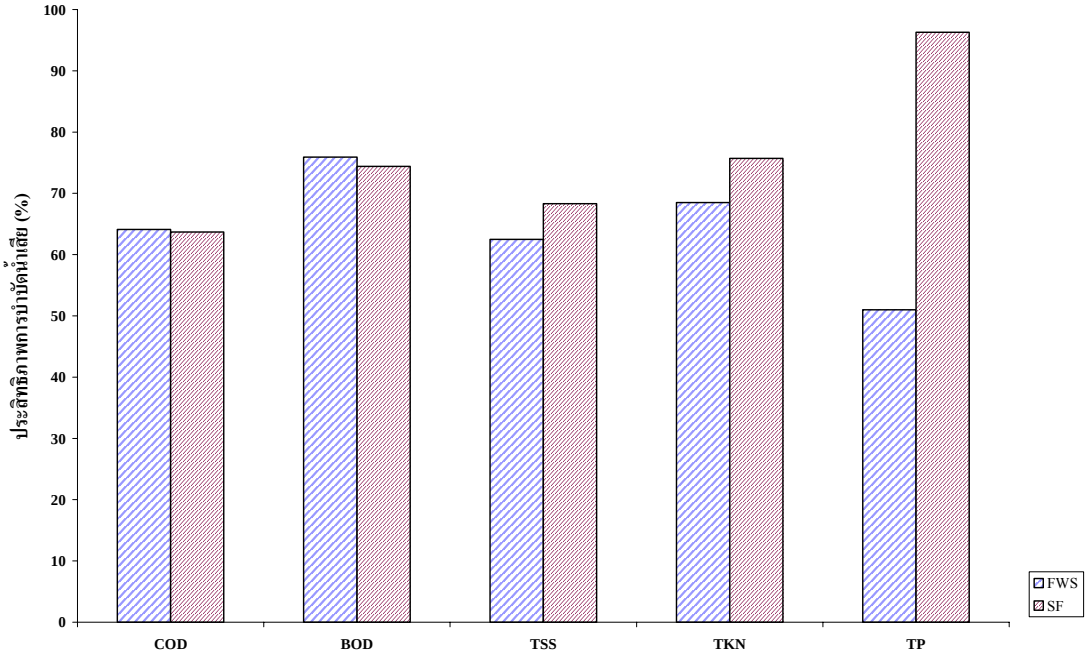
* Mean ± S.D.

4.2.1 สารอินทรีย์

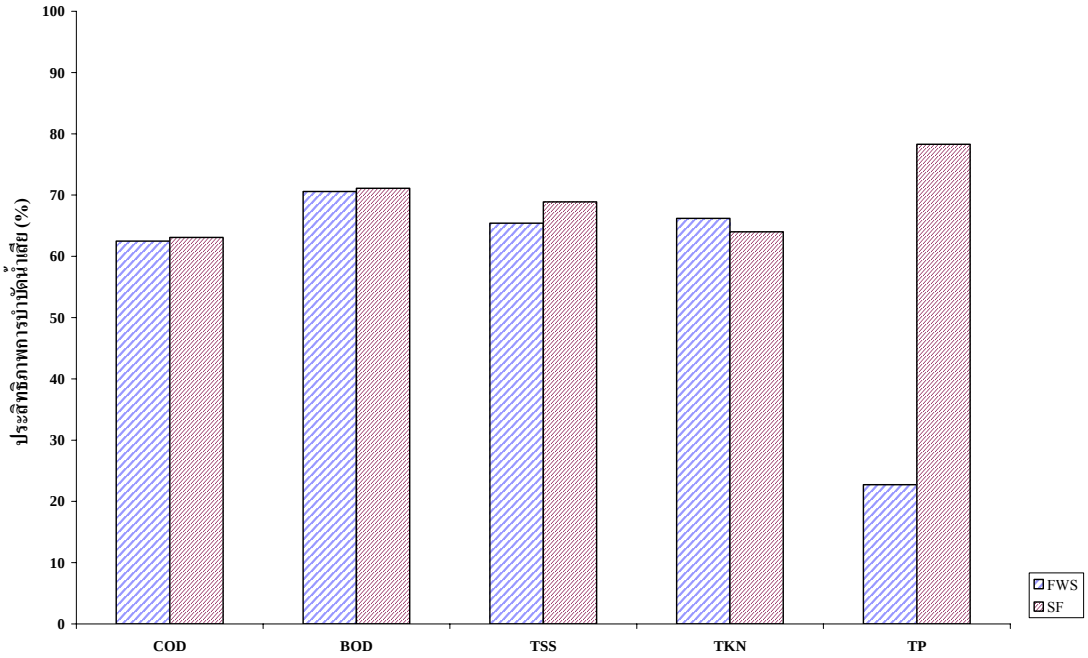
ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และแบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน เท่ากับร้อยละ 24.9 และ 50.1 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน เท่ากับร้อยละ 64.1 และ 63.7 ตามลำดับ และที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน เท่ากับร้อยละ 62.5 และ 63.1 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และแบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน เท่ากับร้อยละ 41.6 และ 60.8 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน เท่ากับร้อยละ 75.9 และ 74.4 ตามลำดับ และ



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน

ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน เท่ากับร้อยละ 70.6 และ 71.1 ตามลำดับ เมื่อนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และแบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเท่ากันมาเปรียบเทียบ พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยทดสอบทางสถิติด้วยวิธี One – way ANOVA ดังแสดงในตารางที่ 3ข (ภาคผนวก ข.) โดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ SF สามารถบำบัดได้ดีกว่าแบบ FWS จากการศึกษาของ ณัฐฑวดี สมอคำ (2545) พบว่ากระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีอย่างรวดเร็วของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และแบบไหลใต้ผิวตัวกลางคือกระบวนการตกตะกอน และการกรอง จากนั้นจึงถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำเพิ่มมากขึ้น ซึ่งพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS มีปริมาตรของตัวกลางเท่ากับ 0.9 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแบบ SF เท่ากับ 1.8 ลูกบาศก์เมตร จึงทำให้สารอินทรีย์ในรูปซีโอดีของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ SF ถูกกรองไว้ในช่องว่างระหว่างชั้นของตัวกลางได้มากกว่าแบบ FWS

ส่วนค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และแบบ SF ที่ทุกระยะเวลาเก็บกักน้ำไม่พบความแตกต่างกัน เนื่องมาจากศุวศา กานตวนิชกูร (2544) กล่าวว่าการกำจัดสารอินทรีย์ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว

และแบบไหลใต้ผิวตัวกลางจะถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ทั้งที่ใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจนที่เกาะติดอยู่กับพืช และที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ จึงทำให้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และแบบ SF สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีได้ใกล้เคียงกัน

4.2.2 ของแข็ง

ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งในรูปของแข็งแขวนลอยของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และแบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน เท่ากับร้อยละ 61.7 และ 66.0 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน เท่ากับร้อยละ 62.5 และ 68.3 ตามลำดับ และที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน เท่ากับร้อยละ 65.4 และ 68.9 ตามลำดับ เมื่อนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และแบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเท่ากันมาเปรียบเทียบ พบว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งในรูปของแข็งแขวนลอยที่ทุกระยะเวลาเก็บกักน้ำไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p > 0.05$) โดยทดสอบทางสถิติด้วยวิธี One – way ANOVA ดังแสดงในตารางที่ 3ข ตารางที่ 4ข และตารางที่ 5ข (ภาคผนวก ข.) อาจเนื่องมาจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS สามารถตกตะกอนของแข็งในรูปของแข็งแขวนลอยลงบนพื้นบ่อ โดยการสะสมของเศษตะกอนรวมทั้งซากพืชนั้นจะพบอยู่ในชั้นตัวกลาง และจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ตามรากพืชจะช่วยย่อยสลายตะกอนเหล่านี้ (จิตติมา เชื้อกูล, 2545) จากการศึกษาของ Vymazal (1998) พบว่ากลไกการกรองเป็นกระบวนการกำจัดของแข็งในรูปของแข็งแขวนลอยของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง โดยของแข็งที่มีขนาดใหญ่ และขนาดเล็กจะกรองผ่านชั้นตัวกลาง และรากพืชที่สานกันอยู่ในดิน ซึ่ง Kadlec and Knight (1996) กล่าวว่าชั้นของตัวกลางจะทำหน้าที่กรองและลดความเร็วของน้ำ ทำให้ของแข็งในรูปของแข็งแขวนลอยไม่ถูกพัดพาไปกับน้ำได้ ดังนั้นจากการศึกษาจะเห็นได้ว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และแบบ SF สามารถเกิดการตกตะกอนและการกรองได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดดีขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำเพิ่มขึ้น

4.2.3 ไนโตรเจน

ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็นของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และแบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน เท่ากับร้อยละ 42.4 และ 58.5 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน เท่ากับร้อยละ 68.5 และ 75.7 ตามลำดับ และที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน เท่ากับร้อยละ 66.2 และ 64.0 ตามลำดับ เมื่อนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และแบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเท่ากันมาเปรียบเทียบ พบว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็นที่ทุกระยะเวลาเก็บกักน้ำไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p > 0.05$) โดยทดสอบทางสถิติด้วยวิธี One – way ANOVA ดังแสดงในตารางที่ 3ข ตารางที่ 4ข และตารางที่ 5ข (ภาคผนวก ข.) เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2547) กล่าวว่ากลไกการกำจัดไนโตรเจนของ

พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และแบบไหลใต้ผิวตัวกลางเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันโดยสารอินทรีย์ไนโตรเจนจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย และเมื่อแอมโมเนียถูกออกซิไดซ์จะได้ไนเตรท ซึ่งเรียกว่าไนตริฟิเคชัน แต่ถ้าอยู่ในสภาวะแอนอ็อกซิกจะทำให้ไนเตรทเปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเรียกว่าดีไนตริฟิเคชัน จึงทำให้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และแบบ SF สามารถกำจัดไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็นได้ใกล้เคียงกัน

4.2.4 ฟอสฟอรัส

ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และแบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน เท่ากับร้อยละ 24.1 และ 69.9 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน เท่ากับร้อยละ 51.0 และ 96.3 ตามลำดับ และที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน เท่ากับร้อยละ 22.7 และ 78.3 ตามลำดับ เมื่อนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และแบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเท่ากันมาเปรียบเทียบ พบว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสที่ทุกระยะเวลาเก็บกักน้ำพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยทดสอบทางสถิติด้วยวิธี One – way ANOVA ดังแสดงในตารางที่ 3ข ตารางที่ 4ข และตารางที่ 5ข (ภาคผนวก ข.) โดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ SF สามารถบำบัดได้ดีกว่าแบบ FWS เนื่องจาก ศุวศา กานตวนิชกูร (2544) และ Brix (1994) กล่าวว่ากลไกการดูดซับฟอสฟอรัสไว้ในตัวกลางของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ โดยฟอสฟอรัสจะถูกดูดซับไว้ในตัวกลางและพืชสามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ต่อไป โดยที่รากพืชเป็นส่วนสำคัญในการสะสมฟอสฟอรัสโดยการดึงฟอสฟอรัสจากในดิน และส่งผ่านไปยังเนื้อเยื่อ เพื่อไปใช้ในการสร้างเซลล์ของพืช ซึ่งพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ SF มีปริมาตรตัวกลางดินปนทรายที่สามารถดูดซับฟอสฟอรัสไว้ได้มากกว่าแบบ FWS จึงทำให้อัตราการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นกกรังกาในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ SF มีค่าสูงกว่าแบบ FWS ทุกระยะเวลาเก็บกักน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาตรของตัวกลางดินปนทราย และอัตราการเจริญเติบโตของต้นกกรังกาในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (วัน)	ปริมาตรตัวกลางดินปนทราย (ลูกบาศก์เมตร)		น้ำหนักแห้งเฉลี่ย (กรัม/ (ตารางเมตร.วัน))	
	FWS	SF	FWS	SF
8	0.9	1.8	0.9	2.7
10	0.9	1.8	1.4	3.1
12	0.9	1.8	1.3	1.6

4.3 การศึกษารูปแบบการจัดลำดับก่อน – หลังของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม

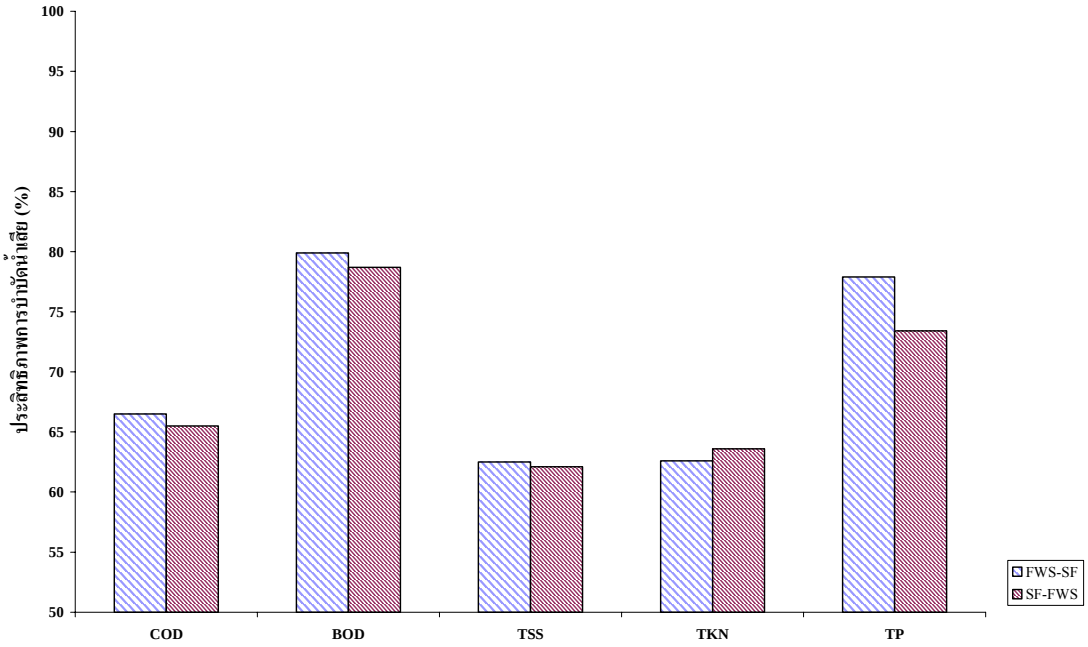
จากการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำเสียเข้าสู่ระบบเฉลี่ย 25.7 องศาเซลเซียส และค่าพีเอชเฉลี่ย 7.3 ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS – SF และแบบ SF – FWS ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน เท่ากับ 25.2 และ 24.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ขณะที่ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS – SF และแบบ SF – FWS ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน เท่ากับ 6.9 และ 7.2 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ย และพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และการเจริญของจุลินทรีย์

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม แบบ FWS – SF และแบบ SF – FWS ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน ซึ่งมีผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม

พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์	ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (วัน)	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย* (%)				
		สารอินทรีย์		ของแข็ง	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส
		COD	BOD	TSS	TKN	TP
FWS – SF	5	66.5 ± 11.3	79.9 ± 10.7	62.5 ± 12.4	62.6 ± 6.0	77.9 ± 9.2
SF – FWS	5	65.5 ± 12.4	78.7 ± 11.8	62.1 ± 13.0	63.6 ± 4.9	73.4 ± 13.9

* Mean ± S.D.



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม แบบ FWS – SF และแบบ SF – FWS พบว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี ในรูปบีโอดี ของแข็งในรูปของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมทั้ง 2 แบบ มีลักษณะขององค์ประกอบต่างๆ ของระบบที่คล้ายคลึงกัน จึงทำให้กลไกการบำบัดต่างๆ เกิดขึ้นคล้ายกันด้วย โดยสามารถสังเกตได้จากข้อมูลอัตราการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นกกรังกาในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมทั้ง 2 แบบ ที่มีค่าเท่ากัน เท่ากับ 2.1 กรัม/ (ตารางเมตร.วัน) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และศุวศา กานตวนิชกูร (2544) กล่าวว่าพืชมีส่วนช่วยทำให้เกิดกลไกการบำบัดต่างๆ โดยพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวจะช่วยเพิ่มพื้นที่ให้จุลินทรีย์มีที่เกาะอาศัย และทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น (จิตติมา เชื้อกูล, 2545) ส่วนพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางจะช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนภายในระบบให้จุลินทรีย์นำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (พิรัฐพล ตนานนท์, 2544) นอกจากนี้พืชในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวยังช่วยลดอัตราการไหลของน้ำ เพื่อไม่ให้เซลล์แบคทีเรียและตะกอนของแข็งในรูปของแข็งแขวนลอยบางส่วนหลุดออกมาจากระบบได้ และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางยังช่วยกรองของแข็งในรูปของแข็ง

แขวนลอยออกจากระบบอีกด้วย (จิตติมา เชื้อกูล, 2545 และ Kadlec and Knight, 1996) ขณะที่การกำจัดไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็นโดยเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวและแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2547) ส่วนการกำจัดฟอสฟอรัสโดยการดูดซับฟอสฟอรัสของตัวกลาง และพืชสามารถดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตต่อไป (ชีวรัตน์ ศิลปะรัตน์ กนกพร บุญส่ง และสมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล, 2548) จากกลไกการบำบัดต่างๆ สามารถเกิดขึ้นทั้งในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม แบบ FWS – SF และแบบ SF – FWS จึงทำให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี ในรูปบีโอดี ของแข็งในรูปของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมทั้ง 2 แบบไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p > 0.05$) โดยทดสอบทางสถิติด้วยวิธี One – way ANOVA ดังแสดงในตารางที่ 6ข (ภาคผนวก ข.) ดังนั้นรูปแบบการจัดลำดับก่อน – หลังของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม แบบ FWS – SF และแบบ SF – FWS จึงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 4.4 อัตราการเจริญเติบโตของต้นกกรังกาในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม

พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์	**ระยะเวลาเก็บกักน้ำ** (วัน)	**น้ำหนักแห้งเฉลี่ย** (กรัม/ (ตารางเมตร.วัน))	**ความสูงเฉลี่ย** (เซนติเมตร/ (ต้น.วัน))
FWS – SF	5	2.1	1.9
SF – FWS	5	2.1	1.8

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียจากหอพักนักศึกษา เรือนพักบุคลากร และอาคารต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 10 และ 12 วัน มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี ในรูปบีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสแตกต่างกัน โดยที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน สามารถบำบัดได้ดีที่สุด ส่วนพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ SF พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 10 และ 12 วัน มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสแตกต่างกัน โดยที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ SF สามารถบำบัดได้ดีที่สุด และจากการเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS กับแบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเท่ากัน พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยวทั้ง 2 แบบ มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสแตกต่างกันทุกระยะเวลาเก็บกักน้ำ โดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ SF สามารถบำบัดได้ดีกว่าแบบ FWS อาจเนื่องมาจากกลไกการดูดซับฟอสฟอรัสของตัวกลาง เพื่อให้พืชสามารถดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของปริมาตรตัวกลางดินปนทรายของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ SF เท่ากับ 1.8 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าปริมาตรตัวกลางดินปนทรายของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS เท่ากับ 0.9 ลูกบาศก์เมตร และจากข้อมูลอัตราการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นกกรังกาที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเท่ากัน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นกกรังกาในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ SF มากกว่าแบบ FWS ในทุกระยะเวลาเก็บกักน้ำ และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยวแบบ FWS และแบบ SF ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน พบว่ามีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีแตกต่างกันด้วย โดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ SF สามารถบำบัดได้ดีกว่าแบบ FWS ส่วนการศึกษารูปแบบการจัดลำดับก่อน – หลังของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม แบบ FWS – SF และแบบ SF – FWS มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน ไม่พบความแตกต่างกัน เนื่องมาจากมีลักษณะขององค์ประกอบต่างๆ เหมือนกัน ทำให้กลไกการบำบัดต่างๆ

เกิดขึ้นคล้ายกัน ดังนั้นรูปแบบการจัดลำดับก่อน – หลังของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการศึกษาพบว่ากลไกการดูดซึมสารอาหารของตัวกลางดินปนทราย และต้นกกรังกา มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว ดังนั้นควรมีการทดสอบตัวกลางหรือพืชชนิดอื่นเพิ่มเติม เพื่อทดสอบหาชนิดที่มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียดีที่สุด

5.2.2 จากการศึกษาพบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลางสามารถบำบัดสารอาหารโดยเฉพาะฟอสฟอรัสดีกว่าแบบไหลผ่านพื้นผิว โดยที่ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน เป็นช่วงที่มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงสุด ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวกับแบบไหลใต้ผิวตัวกลางในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียดีที่สุด

5.2.3 จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน มีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยวที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน และจากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมมีแนวโน้มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงกว่าแบบเดี่ยว ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาเปรียบเทียบที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเท่ากัน เพื่อทดสอบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียได้มากกว่าแบบเดี่ยว

5.3 ข้อจำกัดในงานวิจัย

5.3.1 เนื่องด้วยลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีค่าพารามิเตอร์ต่ำกว่าลักษณะน้ำเสียชุมชนทั่วไป ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการบำบัดน้ำเสียเฉพาะน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา โดยมีแหล่งรวบรวมน้ำเสียมาจากหอพักนักศึกษา เรือนพักบุคลากร และอาคารต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัย

5.3.2 จากการวิจัยครั้งนี้ได้มีการศึกษาสารติดตามเพื่อพิจารณาการไหลของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว และแบบผสม พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบ FWS และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมทั้ง 2 แบบ มีการกระจายการไหลปานกลาง ส่วนพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยวแบบ SF มีการกระจายการไหลมาก

รายการอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. (2546). **เทคนิคการบำบัดน้ำเสียบางวิธี การนำน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์ และการทดสอบพิษวิทยาสำหรับน้ำทิ้ง**. เล่มที่ 4. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ. (2544). การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กิตติ เอกอำพน และสำอาง หอมชื่น. (2529). การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้กกกลมและผักตบชวา. ใน **เอกสารการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 4**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2540). **การบำบัดน้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2547). **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย**. เล่มที่ 5. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: เอส.อาร์.พริ้นติ้ง แมสโปรดักส์

เกียรติศักดิ์ ปิงกุล และศุวศา กานตวนิชกูร. (2546). การบำบัดไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลใต้ผิวดินแบบไหลขึ้นตามด้วยแบบไหลลง. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**. 11 (1-2): 46-55.

จงรักษ์ ผลประเสริฐ. (2543). ระบบบำบัดแบบธรรมชาติ สำหรับการควบคุมมลพิษ และการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่. **วารสารวิทยาศาสตร์**. 54 (5): 272-287.

จิตติมา เชื้อกูล. (2545). การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ต้นพุทธรักษาในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร และสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

ชีวรัตน์ ศิลปรัตน์ กนกพร บุญส่ง และสมเกียรติ ปิยะธีริติวรกุล. (2548). ผลของระยะเวลาเก็บกัก และความเข้มข้นของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ที่ปลูปพันธุ์ไม้ชายเลนเมื่อใช้ระบบกะ. ใน **เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 4** (หน้า 229-237). กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

ณัฐฑทวดี สมอคำ. (2545). การศึกษาการลดลงของแคดเมี่ยมในน้ำเสียในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พัฒนี จันทรโรทัย. (2536). ข้อพิจารณาในการใช้พืชน้ำปรับปรุงคุณภาพน้ำ. **วารสารวิทยาศาตร์**. 11 (3): 154-157.

พิจิตรา ชโยปถัมภ์. (2544). การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พิรัฐพล ตนานนท์. (2545). การบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นน้ำมัน โดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน. ใน **เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 1** (หน้า 142-150). กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

รัตนา ตรีรัตนภรณ์. (2542). การกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียโดยใช้ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำขังใต้ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ราชบัณฑิตยสถาน. (2538). **อนุกรมวิธานพืช อักษร ก. ฉบับราชบัณฑิตสถาน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: เพื่อนพิมพ์.

รุจิรัชต์ มันตาพันธ์. (2537). ประสิทธิภาพของที่ลุ่มน้ำขังที่ปลูกกกจันทบูรณ์ (Cyperus corymbosus Rottb.) ในการบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 3 จากหอพักนักศึกษา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

ลักษณี คณานิธินันท์. (2539). ประสิทธิภาพของกกกลม ธูปฤาษี อ้อ และแห้วทรงกระเทียมในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น เพื่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

วิทิต ขอสันติวิวัฒน์. (2545). การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ศุวศา กานตวนิชกูร. (2538). **การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา**. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศุวศา กานตวนิชกูร. (2544). **รายงานการวิจัยเรื่อง การกำจัดไนโตรเจนโดยระบบ Combined constructed wetland ในเขตอากาศร้อน**. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

สุรชัย มัชฉาชีพ. (2538). **วัชพืชในประเทศไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: แพร่พิทยา.

โสมนัส สมประเสริฐ และ ศุวศา กานตวนิชกูร. (2545). การเปรียบเทียบการกำจัดไนโตรเจนโดยพืชน้ำสองชนิดในระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลในแนวดิ่งอยู่เหนือถังกรองทรายที่มีการไหลในแนวราบ. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**. 10 (2): 46-54.

Amstrong, W., Amstrong, J. and Beckett, P.M. (1990). Measurement and modeling of oxygen release from roots of Phragmites australis. **Constructed wetlands in water pollution control**. Oxford, England: Pergamon Press.

APHA, AWWA, and WEF. (1995). **Standard methods for the examination of the water and wastewater** (19th edition). Washington D.C.: American Public Health Association.

Bastian, R.K., Shanaghan, P.E. and Thompson, B.P. (1989). Use of wetlands for municipal wastewater treatment and disposal-regulatory issues and EPA policies. In D.A. Hammer (ed.). **Constructed wetland for wastewater treatment: Municipal, industrial and agricultural**. Boca Raton: Lewis.

Bavor, H.J., Roser, D.J. and Adcock, P.W. (1995). Challenges for the development of advanced constructed wetlands technology. **Water Science and Technology**. 32: 13-20.

Brix, H. (1993). Macrophyte-mediated oxygen transfer in wetlands: Transport mechanisms and rates. In G.A. Moshiri (ed.). **Constructed wetlands for water quality improvement**. Boca Raton: CRC Press.

Brix, H. (1994). Functions of macrophytes in constructed wetlands. **Water Science and Technology**. 29: 71-78.

Brix, H. (1997). Do macrophytes play a role in constructed wetlands?. **Water Science and Technology**. 35(5): 11-17.

Brix, H. and Schieriep, H-H. (1990). Soil oxygenation in constructed reed beds: The role of macrophyte and soil atmosphere interface oxygen transport. **Constructed wetlands in water pollution control**. Oxford, England: Pergamon Press.

Cheng, S., Grosse, W., Karrenbrock, F. and Thoennessen, M. (2002). Efficiency of constructed wetlands in decontamination of water polluted by heavy metals. **Ecological Engineering**. 18: 317-325.

Cooper, P.E. and Boon, A.G. (1987). The use of Phragmites for wastewater treatment by the root zone method. **Aquatic plants for wastewater treatment and resource recovery**. Orlando, Florida: Magnolia.

Gearhert, R.A. (1992). Use of constructed wetlands to treat domestic wastewater: City of Arcata, California. **Water Science and Technology**. 26 (78): 1625-1637.

Girts, M.A. and Knight, R.L. (1989). Operations optimization. In D.A. Hammer (ed.). **Constructed wetland for wastewater treatment: Municipal, industrial and agricultural**. Boca Raton: Lewis.

Griffin, D.M., Bhattarai, R.R. and Xiang, H. (1999). The effect of temperature on biochemical oxygen demand removal in a subsurface flow wetland. **Water Environment Research**. 71 (4): 475-482.

Kadlec, R.H. and Knight, R.L. (1996). **Treatment wetland**. Boca Raton: Lewis.

Katrin, F. and Sabine, K. (1997). N- and COD- Removal in vertical-flow systems. **Water Science and Technology**. 35 (5): 79-85.

Lin, Y-F., Jing, S-R., Lee, D-Y. and Wang, T-W. (2002). Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system. **Aquaculture**. 209: 169-184.

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

Maschinski, J., Southam, G., Hines, J. and Strohmeyer, S. (1999). Efficiency of a subsurface constructed wetland system using native southwestern U.S. plants. **Journal of Environmental Quality**. 14 (4): 459-462.

Metcalf and Eddy. (1991). **Wasterwater engineering: Treatment, disposal and reuse** (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.

Patruno, J. and Russell, J. (1994). Natural wetland polishing effluent discharging to Wooloweyah lagoon. **Water Science and Technology**. 20: 185-192.

Poh-Eng, L. and Polprasert, C. (1996). Environmental systems reviews. **Constructed wetland for wastewater treatment and resource recovery**. Bangkok: AIT.

Reddy, K.R. and De Busk, T.A. (1987). State-of-the-art utilization of aquatic plants in water pollution control. **Water Science and Technology**. 19 (10): 61-79.

Reed, S. (1980). **Aquaculture systems for wastewater treatment**. EPA 430/ 9-80-007.

Reed, S., Parten, S., Maatzen, G. and Pohren, R. (1996). Water reuse for sludge management and wetland habitat. **Water Science and Technology**. 33: 213-219.

Rogers, F. E.J., Roger, K.H. and Buzer, J.S. (1985). **Wetlands for wastewater treatment**. Johannesburg, South Africa: Witwatersrand University Press.

Ron, C. and George, T. (1998). **Small and decentralized wastewater management systems**. Singapore: WCB McGraw-Hill.

Theisen, A.A. and Matin, C.D. (1987). Removal of phenols from water by duckweed (lemnaceae). In K.R. Reddy and W.H. Smith (eds.). **Aquatic plant for wastewater treatment and resource recovery**. Magnolia.

Vymazal, J. (1998). Removal mechanism and types of constructed wetlands. **Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe**. Leiden: Backhuys.

ภาคผนวก ก

ประสิทธิภาพการบำบัดของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

การคำนวณพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

ก.1 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว

น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีค่าบีโอดีเฉลี่ย 11.9 มิลลิกรัม/ ลิตร
บ่อกว้าง 1 เมตร ยาว 3 เมตร
ความลึกของน้ำ 0.25 เมตร (d_w) ชั้นดินสูง 0.40 เมตร (d_n)
ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน
และอัตราส่วนช่องว่าง 0.47 (n)

ขั้นตอนการคำนวณอัตราการไหล:

$$Q = \frac{LW[d_n n + d_w]}{t}$$

$$= \frac{3 \times 1[(0.4 \times 0.47) + 0.25]}{10}$$

$$= 0.13 \text{ ลูกบาศก์เมตร/วัน}$$

ขั้นตอนการคำนวณอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์:

$$OLR = \frac{Q \times BOD}{A}$$

$$= \frac{0.13 \times 11.9 \times 10000}{1 \times 3 \times 1000}$$

$$= 5.2 \text{ กิโลกรัม บีโอดี/ (เฮกแตร์.วัน)}$$

ก.2 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง

น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีค่าบีโอดีเฉลี่ย 11.9 มิลลิกรัม/ ลิตร
บ่อกว้าง 1 เมตร ยาว 3 เมตร
ความลึกของน้ำ 0.65 เมตร (d)
ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน
และอัตราส่วนช่องว่าง 0.53 (α)

ขั้นตอนการคำนวณอัตราการไหล:

$$Q = \frac{LWd\alpha}{t'}$$

$$= \frac{3\times1\times0.53\times0.65}{10}$$

$$= 0.10 \text{ ลูกบาศก์เมตร/วัน}$$

ขั้นตอนการคำนวณอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์:

$$OLR = \frac{Q\times BOD}{A}$$

$$= \frac{0.10\times11.9\times10000}{3\times1\times1000}$$

$$= 4.0 \text{ กิโลกรัม บีโอดี/ (เฮกแตร์.วัน)}$$

ก.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียที่เข้า และออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบต่างๆ

ตารางที่ ก1 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน

ลักษณะน้ำเสีย	**ชุดที่**	**ความเข้มข้น** (มิลลิกรัม/ ลิตร)		
		น้ำเข้า	**น้ำออก**	**% การบำบัด**
COD	1	35.4	26.6	24.9
	2	76.8	68.0	11.4
	3	42.1	28.0	33.6
	4	56.9	38.4	32.6
	5	60.1	49.2	18.1
	ค่าเฉลี่ย	**54.3**	**42.0**	**24.9**
BOD	1	7.5	6.0	20.0
	2	3.0	1.5	50.0
	3	4.5	1.6	65.0
	4	6.0	4.5	25.0
	5	8.4	4.4	48.0
	ค่าเฉลี่ย	**5.9**	**3.6**	**41.6**
TSS	1	21.0	5.4	74.2
	2	32.0	6.4	80.0
	3	12.0	4.0	66.7
	4	16.0	10.0	37.6
	5	25.0	12.5	50.2
	ค่าเฉลี่ย	**21.2**	**7.7**	**61.7**

ตารางที่ ก2 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน (ต่อ)

ลักษณะน้ำเสีย	**ชุดที่**	**ความเข้มข้น** (มิลลิกรัม/ ลิตร)		
		น้ำเข้า	**น้ำออก**	**% การบำบัด**
TKN	1	10.5	6.8	35.5
	2	14.3	9.7	32.4
	3	16.8	8.5	49.7
	4	19.2	8.4	56.1
	5	21.1	10.6	49.7
	ค่าเฉลี่ย	**16.4**	**8.8**	**42.4**
TP	1	6.7	5.9	11.9
	2	5.9	4.4	26.2
	3	7.2	4.7	34.7
	4	6.1	5.0	18.8
	5	7.4	5.3	28.9
	ค่าเฉลี่ย	**6.7**	**5.1**	**24.1**

ตารางที่ ก3 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน

ลักษณะน้ำเสีย	ชุดที่	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ ลิตร)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	% การบำบัด
COD	1	35.4	8.8	75.1
	2	76.8	38.3	50.1
	3	42.1	42.3	42.7
	4	56.9	38.4	32.6
	5	60.1	30.1	50.0
	ค่าเฉลี่ย	**54.3**	**31.6**	**50.1**
BOD	1	7.5	3.0	60.0
	2	3.0	1.5	50.0
	3	4.5	0.8	83.3
	4	6.0	2.2	62.7
	5	8.4	4.4	48.1
	ค่าเฉลี่ย	**5.9**	**2.4**	**60.8**
TSS	1	21.0	4.2	80.0
	2	32.0	16.0	50.0
	3	12.0	2.8	76.7
	4	16.0	2.7	83.3
	5	25.0	15.0	40.0
	ค่าเฉลี่ย	**21.2**	**8.1**	**66.0**

ตารางที่ ก4 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน (ต่อ)

ลักษณะน้ำเสีย	**ชุดที่**	**ความเข้มข้น** (มิลลิกรัม/ ลิตร)		
		น้ำเข้า	**น้ำออก**	% **การบำบัด**
TKN	1	10.5	2.8	73.1
	2	14.3	5.9	58.9
	3	16.8	6.7	60.1
	4	19.2	10.4	45.9
	5	21.1	9.6	54.4
	ค่าเฉลี่ย	**16.4**	**7.1**	**58.5**
TP	1	6.7	1.4	79.1
	2	5.9	1.8	69.7
	3	7.2	1.2	83.6
	4	6.1	2.6	57.4
	5	7.4	0.5	93.4
	ค่าเฉลี่ย	**6.7**	**1.5**	**76.6**

ตารางที่ ก5 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน

ลักษณะน้ำเสีย	**ชุดที่**	**ความเข้มข้น** (มิลลิกรัม/ ลิตร)		
		น้ำเข้า	**น้ำออก**	% **การบำบัด**
COD	1	72.7	29.1	60.0
	2	55.1	16.6	69.9
	3	63.4	27.2	57.1
	4	48.7	24.4	49.9
	5	91.8	27.6	83.6
	ค่าเฉลี่ย	**66.3**	**25.0**	**64.1**
BOD	1	18.0	3.0	83.3
	2	9.0	3.2	64.3
	3	6.6	1.5	76.7
	4	12.0	4.8	60.0
	5	13.8	0.7	95.2
	ค่าเฉลี่ย	**11.9**	**3.1**	**75.9**
TSS	1	16.0	4.0	75.0
	2	20.0	10.0	50.0
	3	24.0	8.7	63.6
	4	36.0	9.4	74.0
	5	8.0	4.0	50.0
	ค่าเฉลี่ย	**20.8**	**7.2**	**62.5**

ตารางที่ ก6 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน (ต่อ)

ลักษณะน้ำเสีย	ชุดที่	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ ลิตร)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	% การบำบัด
TKN	1	19.9	7.1	64.3
	2	16.8	4.1	75.4
	3	21.1	8.7	58.8
	4	9.1	4.2	53.7
	5	18.3	1.8	90.1
	ค่าเฉลี่ย	**17.0**	**5.2**	**68.5**
TP	1	4.0	2.1	47.5
	2	4.2	1.9	54.8
	3	2.8	1.9	32.4
	4	5.0	1.9	62.8
	5	3.4	1.4	57.6
	ค่าเฉลี่ย	**3.9**	**1.8**	**51.0**

ตารางที่ ก7 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน

ลักษณะน้ำเสีย	**ชุดที่**	**ความเข้มข้น** (มิลลิกรัม/ ลิตร)		
		น้ำเข้า	**น้ำออก**	% **การบำบัด**
COD	1	72.7	29.1	60.0
	2	55.1	16.6	69.9
	3	63.4	21.2	57.1
	4	48.7	7.7	84.1
	5	91.8	48.1	47.6
	ค่าเฉลี่ย	**66.3**	**24.5**	**63.7**
BOD	1	18.0	5.1	71.4
	2	9.0	3.5	60.9
	3	6.6	0.8	87.5
	4	12.0	5.1	57.3
	5	13.8	0.7	95.1
	ค่าเฉลี่ย	**11.9**	**3.0**	**74.4**
TSS	1	16.0	4.0	75.0
	2	20.0	8.1	59.3
	3	24.0	5.7	76.4
	4	36.0	12.9	64.3
	5	8.0	2.7	66.7
	ค่าเฉลี่ย	**20.8**	**6.7**	**68.3**

ตารางที่ ก8 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน (ต่อ)

ลักษณะน้ำเสีย	**ชุดที่**	**ความเข้มข้น** (มิลลิกรัม/ ลิตร)		
		น้ำเข้า	**น้ำออก**	% **การบำบัด**
TKN	1	19.9	3.6	81.8
	2	16.8	5.9	64.9
	3	21.1	3.7	82.3
	4	9.1	4.2	78.2
	5	18.3	5.2	71.4
	ค่าเฉลี่ย	**17.0**	**4.5**	**75.7**
TP	1	4.0	0.5	86.6
	2	4.2	0.1	97.5
	3	2.8	2.8	100.0
	4	5.0	0.02	99.7
	5	3.4	0.09	97.6
	ค่าเฉลี่ย	**3.9**	**0.7**	**96.3**

ตารางที่ ก9 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน

ลักษณะน้ำเสีย	**ชุดที่**	**ความเข้มข้น** (มิลลิกรัม/ ลิตร)		
		น้ำเข้า	**น้ำออก**	% **การบำบัด**
COD	1	83.3	27.8	66.6
	2	74.4	29.8	59.9
	3	50.0	27.8	44.5
	4	82.6	22.8	72.4
	5	66.7	20.5	69.2
	ค่าเฉลี่ย	**71.4**	**25.7**	**62.5**
BOD	1	10.2	2.0	80.0
	2	9.0	4.5	50.0
	3	6.6	1.2	81.8
	4	3.0	1.0	68.3
	5	5.4	1.5	72.9
	ค่าเฉลี่ย	**6.8**	**2.0**	**70.6**
TSS	1	16.0	4.0	75.0
	2	20.0	12.0	40.0
	3	18.0	7.2	60.0
	4	24.0	7.9	67.0
	5	12.0	1.8	85.0
	ค่าเฉลี่ย	**18.0**	**6.6**	**65.4**

ตารางที่ ก10 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน (ต่อ)

ลักษณะน้ำเสีย	ชุดที่	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ ลิตร)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	% การบำบัด
TKN	1	8.7	4.6	47.1
	2	9.5	2.5	73.7
	3	9.1	1.6	82.1
	4	7.8	3.9	49.5
	5	6.5	1.4	78.7
	ค่าเฉลี่ย	**8.3**	**2.8**	**66.2**
TP	1	6.6	5.1	22.7
	2	7.4	6.5	11.5
	3	5.3	3.4	36.4
	4	8.2	6.9	16.1
	5	6.1	4.5	26.9
	ค่าเฉลี่ย	**6.7**	**5.3**	**22.7**

ตารางที่ ก11 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน

ลักษณะน้ำเสีย	ชุดที่	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ ลิตร)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	% การบำบัด
COD	1	83.3	8.3	90.0
	2	74.4	31.0	58.4
	3	50.0	27.5	45.1
	4	82.6	27.5	66.7
	5	66.7	29.7	55.5
	ค่าเฉลี่ย	**71.4**	**24.8**	**63.1**
BOD	1	10.2	1.7	83.3
	2	9.0	3.0	66.7
	3	6.6	1.4	78.7
	4	3.0	1.4	54.5
	5	5.4	1.5	72.3
	ค่าเฉลี่ย	**6.8**	**1.8**	**71.1**
TSS	1	16.0	2.7	83.3
	2	20.0	6.7	66.7
	3	18.0	4.4	75.7
	4	24.0	9.9	58.8
	5	12.0	4.8	60.0
	ค่าเฉลี่ย	**18.0**	**5.7**	**68.9**

ตารางที่ ก12 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน (ต่อ)

ลักษณะน้ำเสีย	ชุดที่	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ ลิตร)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	% การบำบัด
TKN	1	8.7	3.4	60.9
	2	9.5	2.5	73.6
	3	9.1	4.2	54.3
	4	7.8	1.5	80.2
	5	6.5	3.2	51.0
	ค่าเฉลี่ย	**8.3**	**3.0**	**64.0**
TP	1	6.6	1.4	78.8
	2	7.4	1.7	77.4
	3	5.3	0.9	82.8
	4	8.2	2.0	75.5
	5	6.1	1.4	77.0
	ค่าเฉลี่ย	**6.7**	**1.5**	**78.3**

ตารางที่ ก13 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม แบบไหลผ่านพื้นผิว-ไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน

ลักษณะน้ำเสีย	ชุดที่	**ความเข้มข้น** (มิลลิกรัม/ ลิตร)		
		น้ำเข้า	**น้ำออก**	% **การบำบัด**
COD	1	72.7	14.5	80.0
	2	55.1	18.4	66.6
	3	63.4	15.9	75.0
	4	48.7	22.9	52.9
	5	91.8	38.5	58.1
	ค่าเฉลี่ย	**66.3**	**22.0**	**66.5**
BOD	1	18.0	3.0	83.3
	2	9.0	0.6	93.3
	3	6.6	2.4	64.3
	4	12.0	2.9	75.7
	5	13.8	2.4	82.8
	ค่าเฉลี่ย	**11.9**	**2.3**	**79.9**
TSS	1	16.0	6.0	62.7
	2	20.0	5.0	75.0
	3	24.0	12.0	50.0
	4	36.0	9.1	74.7
	5	8.0	4.0	50.1
	ค่าเฉลี่ย	**20.8**	**7.2**	**62.5**

ตารางที่ ก14 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิว-ไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน (ต่อ)

ลักษณะน้ำเสีย	ชุดที่	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ ลิตร)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	% การบำบัด
TKN	1	19.9	9.0	54.6
	2	16.8	7.0	58.3
	3	21.1	6.6	68.7
	4	9.1	3.2	64.6
	5	18.3	6.1	66.9
	ค่าเฉลี่ย	**17.0**	**6.4**	**62.6**
TP	1	4.0	0.4	90.5
	2	4.2	1.4	67.1
	3	2.8	0.6	80.0
	4	5.0	1.5	70.9
	5	3.4	0.6	81.1
	ค่าเฉลี่ย	**3.9**	**0.9**	**77.9**

ตารางที่ ก15 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง-ไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน

ลักษณะน้ำเสีย	**ชุดที่**	**ความเข้มข้น** (มิลลิกรัม/ ลิตร)		
		น้ำเข้า	**น้ำออก**	% **การบำบัด**
COD	1	72.7	14.5	80.0
	2	55.1	22.0	60.0
	3	63.4	19.1	69.9
	4	48.7	25.7	47.3
	5	91.8	27.4	70.1
	ค่าเฉลี่ย	**66.3**	**21.7**	**65.5**
BOD	1	18.0	1.8	90.0
	2	9.0	1.9	78.6
	3	6.6	1.1	83.3
	4	12.0	4.9	58.8
	5	13.8	2.4	82.8
	ค่าเฉลี่ย	**11.9**	**2.4**	**78.7**
TSS	1	16.0	7.2	54.8
	2	20.0	6.1	69.3
	3	24.0	5.2	78.3
	4	36.0	13.2	63.4
	5	8.0	4.4	44.7
	ค่าเฉลี่ย	**20.8**	**7.2**	**62.1**

ตารางที่ ก16 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง-ไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน (ต่อ)

ลักษณะน้ำเสีย	**ชุดที่**	**ความเข้มข้น** (มิลลิกรัม/ ลิตร)		
		น้ำเข้า	**น้ำออก**	**% การบำบัด**
TKN	1	19.9	6.5	67.3
	2	16.8	7.4	55.7
	3	21.1	8.0	62.1
	4	9.1	3.2	65.0
	5	18.3	5.9	67.8
	ค่าเฉลี่ย	**17.0**	**6.2**	**63.6**
TP	1	4.0	1.2	70.0
	2	4.2	0.2	95.6
	3	2.8	1.2	58.8
	4	5.0	1.2	76.2
	5	3.4	1.1	66.4
	ค่าเฉลี่ย	**3.9**	**1.0**	**73.4**

ภาคผนวก ข

การศึกษาความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ข.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 11.0

ตารางที่ ข1 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนวิธี One-way ANOVA ของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	ระยะเวลาเก็บกักน้ำ	ผล	Sig.
COD	8 วัน 10 วัน 12 วัน	พบความแตกต่าง	0.000
BOD	8 วัน 10 วัน 12 วัน	พบความแตกต่าง	0.009
TSS	8 วัน 10 วัน 12 วัน	ไม่พบความแตกต่าง	0.928
TKN	8 วัน 10 วัน 12 วัน	พบความแตกต่าง	0.038
TP	8 วัน 10 วัน 12 วัน	พบความแตกต่าง	0.001

ความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ข2 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนวิธี One-way ANOVA ของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	ระยะเวลาเก็บกักน้ำ	ผล	Sig.
COD	8 วัน 10 วัน 12 วัน	ไม่พบความแตกต่าง	0.327
BOD	8 วัน 10 วัน 12 วัน	ไม่พบความแตกต่าง	0.315
TSS	8 วัน 10 วัน 12 วัน	ไม่พบความแตกต่าง	0.938
TKN	8 วัน 10 วัน 12 วัน	ไม่พบความแตกต่าง	0.054
TP	8 วัน 10 วัน 12 วัน	พบความแตกต่าง	0.007

ความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ข3 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนวิธี One-way ANOVA ของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียระหว่างพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวกับแบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน

ลักษณะสมบัติ	พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์	ผล	Sig.
COD	FWS SF	พบความแตกต่าง	0.013
BOD	FWS SF	ไม่พบความแตกต่าง	0.104
TSS	FWS SF	ไม่พบความแตกต่าง	0.727
TKN	FWS SF	ไม่พบความแตกต่าง	0.062
TP	FWS SF	พบความแตกต่าง	0.000

ความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ข4 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนวิธี One-way ANOVA ของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียระหว่างพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวกับแบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน

ลักษณะสมบัติ	พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์	ผล	Sig.
COD	FWS SF	ไม่พบความแตกต่าง	0.967
BOD	FWS SF	ไม่พบความแตกต่าง	0.885
TSS	FWS SF	ไม่พบความแตกต่าง	0.388
TKN	FWS SF	ไม่พบความแตกต่าง	0.349
TP	FWS SF	พบความแตกต่าง	0.000

ความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ข5 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนวิธี One-way ANOVA ของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียระหว่างพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวกับแบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน

ลักษณะสมบัติ	พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์	ผล	Sig.
COD	FWS SF	ไม่พบความแตกต่าง	0.947
BOD	FWS SF	ไม่พบความแตกต่าง	0.949
TSS	FWS SF	ไม่พบความแตกต่าง	0.705
TKN	FWS SF	ไม่พบความแตกต่าง	0.818
TP	FWS SF	พบความแตกต่าง	0.000

ความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ข6 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนวิธี One-way ANOVA ของการศึกษารูปแบบการจัดลำดับก่อน-หลังของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม

ลักษณะสมบัติ	พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์	ผล	Sig.
COD	FWS-SF SF-FWS	ไม่พบความแตกต่าง	0.891
BOD	FWS-SF SF-FWS	ไม่พบความแตกต่าง	0.873
TSS	FWS-SF SF-FWS	ไม่พบความแตกต่าง	0.961
TKN	FWS-SF SF-FWS	ไม่พบความแตกต่าง	0.789
TP	FWS-SF SF-FWS	ไม่พบความแตกต่าง	0.561

ความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ข7 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำเข้าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบต่างๆ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน

ลักษณะสมบัติ	**น้ำเข้า** (มิลลิกรัม/ ลิตร)				
	Min.	**Max.**	**Mean**	**SD**	**n**
COD	35.4	76.8	54.3	16.2	5
BOD	3.0	8.4	5.9	2.2	5
TSS	12.0	32.0	21.2	7.8	5
TKN	10.5	21.1	16.4	4.2	5
TP	5.9	7.4	6.7	0.7	5

ตารางที่ ข8 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำเข้าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบต่างๆ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน

ลักษณะสมบัติ	**น้ำเข้า** (มิลลิกรัม/ ลิตร)				
	Min.	**Max.**	**Mean**	**SD**	**n**
COD	48.7	91.8	66.3	16.8	5
BOD	6.6	18.0	11.9	4.4	5
TSS	8.0	36.0	20.8	10.4	5
TKN	9.1	21.1	17.0	4.7	5
TP	2.8	5.0	3.9	0.8	5

ตารางที่ ข9 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำเข้าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบต่างๆ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน

ลักษณะสมบัติ	**น้ำเข้า** (มิลลิกรัม/ ลิตร)				
	Min.	**Max.**	**Mean**	**SD**	**n**
COD	50.0	83.3	71.4	13.7	5
BOD	3.0	10.2	6.8	2.9	5
TSS	12.0	24.0	18.0	4.5	5
TKN	6.5	9.5	8.3	1.2	5
TP	5.3	8.2	6.7	1.1	5

ตารางที่ ข10 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน

ลักษณะสมบัติ	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (%)				
	Min.	**Max.**	**Mean**	**SD**	**n**
COD	11.4	33.6	24.9	9.5	5
BOD	20.0	65.0	41.6	18.7	5
TSS	37.6	80.0	61.7	17.5	5
TKN	32.4	56.1	42.4	10.2	5
TP	11.9	34.7	24.1	8.9	5

ตารางที่ ข11 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน

ลักษณะสมบัติ	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (%)				
	Min.	**Max.**	**Mean**	**SD**	**n**
COD	32.6	75.1	50.1	15.7	5
BOD	48.1	83.3	60.8	14.0	5
TSS	40.0	83.3	66.0	19.6	5
TKN	45.9	73.1	58.5	9.9	5
TP	57.4	93.4	76.6	13.7	5

ตารางที่ ข12 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน

ลักษณะสมบัติ	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (%)				
	Min.	Max.	Mean	SD	n
COD	49.9	83.6	64.1	13.1	5
BOD	60.0	95.2	75.9	14.3	5
TSS	50.0	75.0	62.5	12.3	5
TKN	53.7	90.1	68.5	14.5	5
TP	32.4	62.8	51.0	11.8	5

ตารางที่ ข13 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 10 วัน

ลักษณะสมบัติ	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (%)				
	Min.	Max.	Mean	SD	n
COD	47.6	84.1	63.7	13.9	5
BOD	57.3	95.1	74.4	16.5	5
TSS	59.3	76.4	68.3	7.2	5
TKN	64.9	81.8	75.7	7.5	5
TP	86.6	100.0	96.3	5.5	5

ตารางที่ ข14 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน

ลักษณะสมบัติ	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (%)				
	Min.	Max.	Mean	SD	n
COD	44.5	72.4	62.5	11.1	5
BOD	50.0	81.8	70.6	12.7	5
TSS	40.0	85.0	65.4	17.0	5
TKN	47.1	82.1	66.2	16.7	5
TP	11.5	36.4	22.7	9.7	5

ตารางที่ ข15 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว แบบไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 วัน

ลักษณะสมบัติ	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (%)				
	Min.	Max.	Mean	SD	n
COD	45.1	90.0	63.1	16.9	5
BOD	54.5	83.3	71.1	11.2	5
TSS	58.8	83.3	68.9	10.5	5
TKN	51.0	80.2	64.0	12.5	5
TP	77.0	82.8	78.3	2.8	5

ตารางที่ ข16 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม แบบไหลผ่านพื้นผิว-ไหลใต้ผิวตัวกลางที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน

ลักษณะสมบัติ	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (%)				
	Min.	Max.	Mean	SD	n
COD	52.9	80.0	66.5	11.3	5
BOD	64.3	93.3	79.9	10.7	5
TSS	50.0	75.0	62.5	12.4	5
TKN	54.6	68.7	62.6	6.0	5
TP	67.1	90.5	77.9	9.2	5

ตารางที่ ข17 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง-ไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน

ลักษณะสมบัติ	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (%)				
	Min.	Max.	Mean	SD	n
COD	47.3	80.0	65.5	12.4	5
BOD	58.8	90.0	78.7	11.8	5
TSS	44.7	78.3	62.1	13.0	5
TKN	55.7	67.8	63.6	4.9	5
TP	58.8	95.6	73.4	13.9	5

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุชาดา ปุณณสัมฤทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2519 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต กรุงเทพมหานคร เมื่อปีการศึกษา 2541 และได้เข้าทำงานกับบริษัท ดิสคัฟเวอรี่ อินโฟเซอร์วิส จำกัด ในตำแหน่งฝ่ายขาย จนกระทั่งเมื่อปี พ.ศ. 2543 จึงได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา