การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

นางสาว พิจิตรา ชโยปถัมภ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-533-035-3

UPGRADING QUALITY OF SWINE WASTEWATER USING CONSTRUCTED WETLANDS

Miss Pichittra Chayopathum

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Environmental Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2001

ISBN 974-533-035-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

สภามหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จงจินต์ ผลประเสริฐ)
ประธานกรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณ ถังมณี)
กรรมการ

.....
(ดร. ธรรมรัตน์ คุตตะเทพ)
กรรมการ

.....
(ดร. สุดจิต ครุจิต)
กรรมการ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทวิช จิตรสมบูรณ์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

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

พิจิตรา ชโยปถัมภ์ : การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (UPGRADING QUALITY OF SWINE WASTEWATER USING CONSTRUCTED WETLANDS) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. จงจินต์ ผลประเสริฐ, 111 หน้า.
ISBN 974-533-035-3

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์โดยใช้พืช 2 ชนิด คือ ธูปฤาษี (Typha angustifolia Linn.) และ กกกลม (Cyperus corymbosus Rottb.) ที่เวลากักเก็บน้ำ 4-27 วัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรและหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การกำจัด BOD การวิจัยใช้น้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นจากบ่อเก็บกักน้ำ ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีมีประสิทธิภาพการกำจัด BOD อยู่ในช่วง 66-92%, TSS อยู่ในช่วง 70-97%, TKN อยู่ในช่วง 72-96%, NO_3-N อยู่ในช่วง 47-83%, TP อยู่ในช่วง 39-81% และ Total Coliform Bacteria อยู่ในช่วง 52-85%,

พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีมีประสิทธิภาพการกำจัด BOD ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่เวลากักเก็บน้ำมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการกำจัด BOD โดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้นตามเวลากักเก็บที่นานขึ้น

น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ยังไม่สามารถนำกลับมาใช้ในการล้างโรงเรือนและตัวสุกรได้ โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่มิใช่ทะเลและมาตรฐานน้ำดิบของการประปาส่วนภูมิภาค เนื่องจากในน้ำมีแบคทีเรียเป็นจำนวนมาก แต่สามารถปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ทิ้งลงสู่แหล่งน้ำหรือแม่น้ำได้ เนื่องจากลักษณะน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดเป็นไปตามร่างมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรของกรมควบคุมมลพิษ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การกำจัด BOD ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีความสัมพันธ์กับเวลากักเก็บน้ำ, เศษส่วนของ BOD ที่ไม่สามารถกำจัดได้ และค่าคงที่ปฏิกิริยา ซึ่งการทดลองสอดคล้องเป็นไปตามสมการ $C_e/C_0 = F \exp[-0.7K_T(A_V)^{1.75}t]$

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

PICHITTRA CHAYOPATHUM: UPGRADING QUALITY OF SWINE WASTEWATER USING CONSTRUCTED WETLANDS THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. CHONGCHIN POLPRASERT, Ph.D. 111 PP. ISBN 974-533-035-3

Two constructed wetland studies utilizing sedges (Cyperus corymbosus Rottb.) and cattails (Typha angustifolia Linn.) were operated with the hydraulic retention time (HRT) of 4-27 days to quantify the treatment efficiency and the appropriated mathematical model of BOD removal. The influent used was the swine wastewater pretreated with a retention pond. The removal efficiencies were found to be in ranged of 66-92% for BOD, 70-97% for TSS, 72-96% for TKN, 47-83% for NO_3-N, 39-81% for TP, and 52-85% for Total Coliform Bacteria.

Both plants showed no difference in BOD removal at 0.05 significance level and the type of plant did not have any influence on the removal efficiency. With longer HRT, however, the removal efficiency increased.

The effluent from these wetlands still could not be recycled to use in the farm as its characteristics were not conforming to the standards of fresh-water resources and provincial water supply. But it could be discharged into the receiving water bodies; in accordance with the effluent standard of pig farm being promulgated by the Pollution Control Department.

The mathematical model for BOD removal in constructed wetlands for both plants was formulated in terms of HRT, fraction of BOD not removed and reaction rate constant, which experiment results was consistent with following equation $C_e/C_0 = F \exp[-0.7K_T(A_V)^{1.75}t]$.

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย อาทิเช่น

- ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จงจินต์ ผลประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
- รองศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณ ถังมณี กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์
- ดร. ธรรมรัตน์ คุตตะเทพ กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์
- ดร. สุดจิต ครุจิต กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์
- ฟาร์มสุกรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- คุณ มานพ จรโคกกรวด และ คุณ สมชาย สำราญใจ ที่ให้การช่วยเหลือด้านการดำเนินงานวิจัย
- คุณ สัจจาวิทย์ ทรงวิวัฒน์ ที่ให้การช่วยเหลือด้านการดำเนินงานวิจัย, ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจให้เสมอมา
- เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ร่วมสถาบันที่ให้การช่วยเหลือ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณรัชนีกร สุทธิพันธุ์ ที่สนับสนุนให้ทุนการศึกษามาตั้งแต่ผู้เขียนศึกษาระดับปริญญาตรี และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนพี่ ๆ ทุกท่าน ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมาในอดีต จนทำให้ผู้เขียนประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

พิจิตรา ชโยปถัมภ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)……...……...ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)……...……...ข
กิตติกรรมประกาศ……...…….... ค
สารบัญ……...……... ง
สารบัญตาราง……...……...……... ฉ
สารบัญภาพ……...……... ช
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ……...…… ซ
บทที่
1 บทนำ……...……..……..1
1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย……...……...3
1.2 ขอบเขตการวิจัย……..... 3
2 ปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..…….... 4
2.1 การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำ……...……6
2.2 การบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำ……...……...6
2.3 จลนศาสตร์ของพื้นที่ชุ่มน้ำ……...…….. 8
2.4 การศึกษาสารติดตามของพื้นที่ชุ่มน้ำ……...…… 9
2.5 ปัจจัยสำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์……..…….. 10
2.6 เกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลผ่านพื้นผิว……...……...15
2.7 น้ำเสียฟาร์มสุกร……...……16
3 การดำเนินการวิจัย……20
3.1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสีย……...…… 20
3.2 การสร้างแบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์……..…...…… 20
3.3 การเตรียมพืช……...…..23
3.4 การศึกษาสารติดตาม……..... 23
3.5 การดำเนินการทดลอง……..…. 23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 การเก็บตัวอย่าง…….. 25

3.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง……... 25

4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล……27

4.1 ผลการศึกษาสารติดตาม……... 27

4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์……... 28

4.3 ประสิทธิภาพการกำจัด……..33

4.4 อัตราผลผลิตพืช……..45

4.5 สารอินทรีย์ที่สะสมในดิน……... 46

4.6 การนำน้ำกลับมาใช้……... 46

4.7 ตัวอย่างการคำนวณออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์……... 46

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ…… 50

รายการอ้างอิง……... 52

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ผลการศึกษาสารติดตาม……... 56

ภาคผนวก ข. ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสียฟาร์มสุกรที่เข้าและออก
พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์……... 61

ภาคผนวก ค. ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS……... 94

ภาคผนวก ง. เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ……105

ประวัติผู้เขียน……..…111

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 กลไกการบำบัดน้ำเสียในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ……...…….……... 6

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบการกระจาย (d) กับลักษณะการไหล…...……...10

2.3 ระดับน้ำที่เหมาะกับพืชแต่ละชนิด……...……... 11

2.4 เกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลผ่านพื้นผิว……16

2.5 ประเภท น้ำหนักตัวและจำนวนสุกรในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี……18

3.1 วิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสีย……...……. 20

3.2 ลักษณะสมบัติน้ำเสียฟาร์มสุกรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี……...…….. 21

3.3 รายละเอียดการทดลองในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์……...… 25

4.1 ผลการศึกษาสารติดตาม…….. 28

4.2 สรุปผลการทดสอบความถดถอยเชิงเส้น…….…… 29

4.3 สรุปค่า F และ K_T ที่ได้จากการทดลอง……....32

4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยหลายทาง (Two-Way ANOVA) ของลักษณะสมบัติน้ำเสีย โดยมีเวลากักเก็บน้ำและชนิดพืชเป็นตัวแปร……...…….… 34

4.5 ผลการวิเคราะห์พืชและดิน……..…….……..… 45

4.6 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กับมาตรฐานน้ำต่าง ๆ…….. 47

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 ประเภทของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ……..…… 5
2.2 แสดงภาวะของดินในพื้นที่ชุ่มน้ำ……...…..……..12
2.3 รากพืชโผล่พ้นน้ำที่เกิดสภาพออกซิเจนเป็นฟิล์มบาง ๆ (Rhizospere)……...…… 13
2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี…… 19
3.1 ภาพตัดตามขวางพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์…….…..….. 21
3.2 แบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์…… 22
3.3 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษี……..…. 24
3.4 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกกลม…… 24
4.1 ความเข้มข้นคลอไรด์กับเวลาในการศึกษาสารติดตามพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์…….……... 27
4.2 ประสิทธิภาพการกำจัด COD กับเวลากักเก็บน้ำ…… 35
4.3 ประสิทธิภาพการกำจัด BOD กับเวลากักเก็บน้ำ……...…….. 35
4.4 ประสิทธิภาพการกำจัด TSS กับเวลากักเก็บน้ำ……...…… 37
4.5 ประสิทธิภาพการกำจัด TKN กับเวลากักเก็บน้ำ……..……... 37
4.6 ประสิทธิภาพการกำจัด NO_3-N กับเวลากักเก็บน้ำ……..…… 38
4.7 ประสิทธิภาพการกำจัด TP กับเวลากักเก็บน้ำ……...…….…….. 38
4.8 ประสิทธิภาพการกำจัด Total Coliform Bacteria กับเวลากักเก็บน้ำ..…… 40
4.9 log Total Coliform Bacteria กับเวลากักเก็บน้ำ……...……40
4.10 ประสิทธิภาพการกำจัด COD กับอัตราภาระอินทรีย์……...…… 41
4.11 ประสิทธิภาพการกำจัด BOD กับอัตราภาระอินทรีย์……..…… 41
4.12 ประสิทธิภาพการกำจัด TSS กับอัตราภาระอินทรีย์....……..…….…… 42
4.13 ประสิทธิภาพการกำจัด TKN กับอัตราภาระอินทรีย์……...…… 42
4.14 ประสิทธิภาพการกำจัด NO_3-N กับอัตราภาระอินทรีย์……...…..…… 43
4.15 ประสิทธิภาพการกำจัด TP กับอัตราภาระอินทรีย์……...……43
4.16 ประสิทธิภาพการกำจัด Total Coliform Bacteria กับอัตราภาระอินทรีย์…… 44
4.17 log Total Coliform Bacteria กับอัตราภาระอินทรีย์……44

อธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

BOD	=	ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand)
COD	=	ความต้องการออกซิเจนเชิงเคมี (Chemical Oxygen Demand)
FWS	=	พื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลผ่านพื้นผิว (Free water Surface Flow Wetlands)
HLR	=	อัตราภาระชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate)
HRT	=	เวลากักเก็บน้ำ (Hydraulic Retention Time)
NO_3-N	=	Nitrate Nitrogen
OLR	=	อัตราภาระอินทรีย์ (Organic Loading Rate)
TDS	=	ของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolved Solids)
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen
TN	=	ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)
TP	=	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)
TSS	=	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids)
θ	=	สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (Temperature Coefficient)
K_T	=	ค่าคงที่ปฏิกิริยาขึ้นกับอุณหภูมิ (temperature-dependent reaction rate constant)
F	=	เศษส่วนของ BOD ที่ไม่สามารถกำจัดได้ (faction of BOD not removed as settleable near head work of the system)
A_V	=	พื้นที่ผิวสัมผัสสำหรับกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Specific Surface Area for Microbial Activity)
d	=	ตัวประกอบการกระจาย (Dispersion Number)
n	=	อัตราส่วนช่องว่างดิน (void fraction in the media)

บทที่ 1
บทนำ

ปศุสัตว์ในประเทศไทยเป็นกิจกรรมฟาร์มขนาดใหญ่ที่เป็นการเลี้ยงสัตว์ปีก โคเนื้อ โคนม สุกร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำฟาร์มสุกร การเลี้ยงสุกรในประเทศไทยได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งทางด้านพันธุ์ อาหารและการจัดการฟาร์ม ตลอดถึงการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการผลิต ในปัจจุบันอาจกล่าวได้ว่าการผลิตสุกรในประเทศไทย มีศักยภาพทัดเทียมผู้ผลิตและผู้ส่งออกรายใหญ่ของโลก เช่น ไต้หวันและเดนมาร์ก เป็นต้น แต่เนื้อสุกรและผลิตภัณฑ์สุกรของประเทศไทยยังส่งออกไม่ได้มากนัก (ไม่ถึง 1% ของปริมาณการผลิต) และตราบใดที่ยังส่งออกได้ไม่มาก ปัญหาด้านราคาไม่มีเสถียรภาพจะเกิดขึ้นได้ง่าย การผลักดันด้านการส่งออก หรือการขยายตลาดต่างประเทศจะส่งผลในทางบวกต่อระดับราคาของผู้เลี้ยงสุกรในประเทศไทยและต่อการนำเงินตราเข้าประเทศ ผู้เลี้ยงสุกรจึงควรหันมาสนใจการรักษาสิ่งแวดล้อมที่เป็นรากฐานนำไปสู่การผลักดันการส่งออกสุกร เพราะในอนาคตจะถูกนำมาเป็นมาตรการในการกีดกันทางการค้ามากขึ้น แม้จะผลิตสินค้าราคาถูกแต่ไม่มีการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมก็หาผู้ซื้อไม่ได้ ในขณะเดียวกันก็เป็นจุดขายทางการค้าของสินค้า ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับการพัฒนาของแต่ละประเทศที่จะใช้ประโยชน์ เพื่อการแข่งขันหรือปกป้องผลประโยชน์ของประเทศในเวทีสากลที่เป็นการค้าเสรี (สมาคมผู้เลี้ยงสุกรแห่งชาติ, 2541)

การเปลี่ยนแปลงการเลี้ยงสุกรจากในสมัยดั้งเดิมซึ่งเป็นการเลี้ยงแบบรายย่อยเป็นการเลี้ยงแบบฟาร์มใหญ่ มีสัตว์อยู่รวมกันหนาแน่นมาก ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการกำจัดของเสียจากฟาร์ม โดยเฉพาะน้ำเสียและมูลสัตว์ รวมทั้งกลิ่น เสียง และแมลงต่าง ๆ อันก่อให้เกิดผลกระทบแก่สุขลักษณะของชุมชนใกล้เคียงและสภาพแวดล้อม จนก่อให้เกิดปัญหาระหว่างชุมชนและผู้เลี้ยงสัตว์ ปัจจุบันความเจริญของบ้านเมืองและการเพิ่มขึ้นของประชากร ทำให้มีการขยายแหล่งชุมชนออกไป อีกทั้งมีการขยายเขตสุขาภิบาลและเทศบาลซึ่งห้ามการเลี้ยงสัตว์ ฟาร์มเลี้ยงสัตว์โดยเฉพาะฟาร์มสุกรมีมลภาวะทั้งด้านกลิ่นและของเสียจะต้องเคลื่อนย้ายออกไป และในบางพื้นที่ที่อยู่นอกเขตสุขาภิบาลหรือเทศบาลแต่มีชุมชนอยู่ใกล้เคียง มักเกิดปัญหาการร้องเรียนจากประชากรในชุมชนเรื่องกลิ่น เสียงและน้ำเสียที่ออกจากฟาร์ม ถ้าไม่มีการกำจัดหรือป้องกันมลภาวะเหล่านี้ ก็ต้องเคลื่อนย้ายฟาร์มออกไป ในบางกรณีปัญหาได้ลุกลามจนก่อให้เกิดความเสียหายทางสังคมและเศรษฐกิจ ยกตัวอย่างเช่น การเลี้ยงสุกรของฟาร์มขนาดใหญ่แห่งหนึ่งที่จังหวัดลำพูน ซึ่งปล่อยน้ำเสียลงในนาสวนของชาวบ้าน จนเกิดกรณีพิพาทระหว่างชาวบ้านกับฟาร์มสุกร ถึงขั้นชาวบ้านเดิน

ขบวนทำลายทรัพย์สินของฟาร์มสุกร (จรัญ จันทลักขณา, 2540) แต่ถ้าฟาร์มใดได้มีการจัดสร้างระบบกำจัดของเสียขึ้นในฟาร์ม เพื่อป้องกันการเกิดปัญหากับชุมชนใกล้เคียงและปัญหาสิ่งแวดล้อม ผู้เลี้ยงสุกรต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเพื่อแก้ปัญหาด้านการกำจัดของเสีย ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงกว่าฟาร์มอื่น (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2538) เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการจัดการน้ำเสียฟาร์มค่อนข้างสูง โดยเฉพาะราคาก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย, การดูแลรักษาระบบ, ปัญหาการขาดแคลนเจ้าหน้าที่ที่มีความรู้ในด้านการจัดการน้ำเสีย และการควบคุมการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย (สมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย, 2537)

ในการจัดการน้ำเสียฟาร์มสุกรนั้น เกษตรกรมักปล่อยลงสู่แหล่งน้ำที่อยู่ใกล้ ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดภาวะมลพิษที่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทั้งดิน น้ำ อากาศ และสุขภาพอนามัยของประชาชนในบริเวณใกล้เคียง (สุชาติ ฑีฆกุล, 2531; สุชาติ ฑีฆกุล และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2534) ตามแนวทางพัฒนาในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 8 แผนพัฒนาปศุสัตว์เพื่อลดปัญหาด้านการผลิตของสุกร แนวทางหนึ่งคือการป้องกันมลภาวะจากการเลี้ยงสุกร โดยสนับสนุนให้มีการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการเลี้ยงสุกร (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2539) ในอดีตประเทศสิงคโปร์ได้พยายามจัดการและควบคุมของเสียจากสุกรอย่างเข้มงวด แต่ประสบปัญหาพื้นที่จำกัด ปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อมจึงแก้ไขได้ยาก ประเทศสิงคโปร์จึงเลิกการเลี้ยงสุกรตั้งแต่ ค.ศ. 1987 สำหรับประเทศไทยไม่มีปัญหาเรื่องพื้นที่จำกัด ดังนั้นการป้องกันและแก้ปัญหาภาวะมลพิษที่เกิดจากน้ำเสียฟาร์มสุกร วิธีหนึ่งที่น่าสนใจคือการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียฟาร์มสุกรให้สามารถนำน้ำกลับมาใช้ได้อีก อาทิ การทำความสะอาดคอก โรงเรือนและตัวสุกร ระบบที่น่าสนใจคือ พื้นที่ชุ่มน้ำ เนื่องจากเป็นการบำบัดโดยอาศัยระบบธรรมชาติและเป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและดูแลรักษาต่ำ (สมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย, 2537; Cooper, Job, Green, and Shutes, 1996) นอกจากนี้การติดตั้งและการดำเนินการไม่จำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความชำนาญ และเป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นมากและมีความรู้สึกไวน้อย เมื่อมีการแปรเปลี่ยนอัตราภาระ (Brix, 1993)

ดังนั้นการศึกษาถึงการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (Constructed Wetlands) จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจยิ่ง ทั้งนี้เนื่องจากสามารถบำบัดน้ำเสียได้ โดยมีค่าใช้จ่ายน้อย รวมทั้งประหยัดน้ำประปาในการล้างคอกและโรงเรือน โดยสามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ทดแทนน้ำประปาได้

1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

จากแนวทางในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในฟาร์มสุกร ให้สอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบัน การศึกษาวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียฟาร์มสุกรให้สามารถนำกลับมาใช้ในฟาร์มสุกรได้อีก
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชน้ำ 2 ชนิด คือ กกกลม (Cyperus corymbosus Rottb.) และธูปฤาษี (Typha angustifolia Linn.) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

1.2 ขอบเขตการวิจัย

เพื่อให้การศึกษาวิจัยเป็นไปตามวัตถุประสงค์ข้างต้น จึงได้กำหนดขอบเขตการวิจัยดังนี้

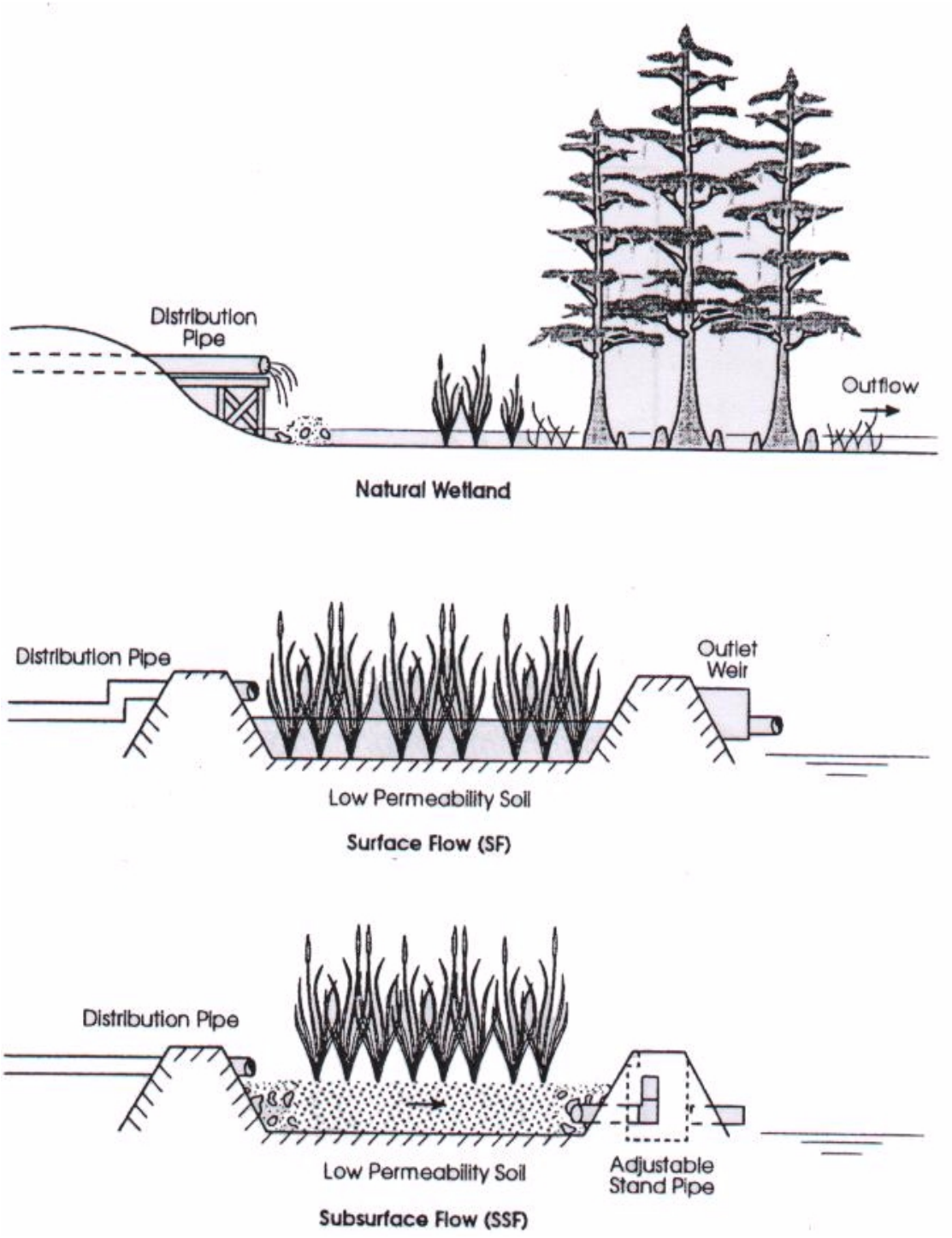
1. วิเคราะห์คุณภาพน้ำจากลักษณะสมบัติน้ำที่เข้าและออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ อันได้แก่ Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Total Suspended Solids (TSS), Total Dissolved Solids (TDS), Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), Nitrate Nitrogen (NO_3-N), Total Phosphorus (TP) และ Total Coliform Bacteria
2. เก็บรวบรวมข้อมูลวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่เข้าและออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ เพื่อหาประสิทธิภาพการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียฟาร์มสุกร โดยทำการแปรเปลี่ยนอัตราภาระชลศาสตร์
3. หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ เพื่ออธิบายการย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปของ BOD

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พื้นที่ชุ่มน้ำ คือ พื้นที่ที่เป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างระบบนิเวศน์พื้นดินและพื้นน้ำ กล่าวคือ เป็นพื้นที่ดินที่มีน้ำขังอิ่มตัว ไม่ลึกนัก และมีพืชน้ำ (Aquatic Plants) ขึ้นงอกงาม ระบบนิเวศน์เป็นไปตามธรรมชาติมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยา โดยอาศัยพืชน้ำ สัตว์ จุลินทรีย์ รวมทั้งดินเป็นตัวบำบัด (สมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย, 2537; อุดร จารุรัตน์, 2537) ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ ทั้งกายภาพ เคมี และชีวภาพ พื้นที่ชุ่มน้ำโดยทั่ว ๆ ไป จะแบ่งออกเป็น พื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ (Natural Wetlands) และพื้นที่ชุ่มน้ำที่มนุษย์ดัดแปลงขึ้นมาเพื่อเลียนแบบธรรมชาติ ซึ่งเรียกว่า พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (Constructed Wetlands) การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำเพื่อการบำบัดน้ำเสียนั้น ส่วนใหญ่จะเหมาะสำหรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมาบ้างแล้ว คือใช้เป็นการบำบัดขั้นที่สองหรือสูงกว่า โดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์จะมีประสิทธิภาพในการลดค่า BOD, COD, สารแขวนลอย (Suspended Solid), สารอาหาร (Nutrient), ฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform) สารอินทรีย์ และโลหะต่าง ๆ

พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ คือพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างที่ใดที่หนึ่ง โดยมีจุดประสงค์เพื่อเป็นเทคโนโลยีใหม่ในการบำบัดน้ำเสีย การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์เพื่อบำบัดน้ำเสีย มีหลักการเบื้องต้นเหมือนกับพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ แต่แตกต่างกันตรงที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้มากขึ้น ดังภาพที่ 2.1 ข้อได้เปรียบของการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ คือสถานที่ตั้งซึ่งมีความยืดหยุ่นจะตั้งอยู่ที่ใดหรือมีขนาดใดก็ได้ รวมทั้งการควบคุมการไหลของน้ำและเวลากักเก็บน้ำ โดยอาศัยเกณฑ์การออกแบบต่าง ๆ (Brix, 1993)

พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มี 2 แบบ คือ แบบไหลผ่านพื้นผิว (Free Water Surface Flow Wetlands ≅ FWS) จะเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่น้ำเสียไหลผ่านผิวหน้าดินหรือตัวกลางสัมผัสกับอากาศโดยตรง จากนั้นจึงไหลซึมลงสู่พื้น ประกอบด้วยพืชน้ำหลายชนิด ระดับน้ำไม่ลึกมากนัก และพื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง (Subsurface Wetlands ≅ SF) เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยน้ำเสียผ่านลงไปในตัวกลาง ซึ่งมีพืชน้ำขึ้นอยู่ ตัวกลางที่ใช้เป็นพวกหินบด กรวด หรือดินชนิดต่าง ๆ อาจมีเพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกัน ในระบบนี้น้ำเสียที่ผ่านจะถูกบำบัดระหว่างสัมผัสพื้นผิวตัวกลาง



หมายเหตุ จาก Treatment Wetlands. (44), Kedlec and Knight, 1996, Boca Raton: Lewis.

ภาพที่ 2.1 ประเภทของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ

2.1 การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำ

วัตถุประสงค์ของการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำค่อนข้างกว้างขวางกล่าวคือ พื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลผ่านพื้นผิว นอกจากจะใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนแล้ว ยังสามารถใช้เทคนิคนี้ในการบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงสัตว์ การเกษตร และอุตสาหกรรมได้อีกด้วย การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำให้มีประสิทธิภาพดีและประสบผลสำเร็จสูงสุดนั้น ต้องผ่านการบำบัดขั้นต้นมาก่อน เนื่องจากน้ำเสียนั้นอาจมีความเข้มข้นของสารต่าง ๆ สูงจนทำความเสียหายแก่ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ ทำให้ระบบเกิดความล้มเหลวได้ Gerberg, Elkins, and Goldman (1986) รายงานว่า จากการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งมีปริมาณแอมโมเนีย 33.0 mg/L ธูปฤาษีจะถูกยับยั้งการเจริญเติบโต และเมื่อความเข้มข้นลดลง ธูปฤาษีสามารถเจริญเติบโตได้

2.2 การบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำ

พื้นที่ชุ่มน้ำสามารถบำบัดความสกปรกของน้ำเสีย โดยลด COD, BOD, ของแข็งแขวนลอย, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โลหะหนักและเชื้อโรคบางชนิดได้ ซึ่งกลไกการบำบัดน้ำเสียในพื้นที่ชุ่มน้ำเป็นทั้งวิธีการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กลไกการบำบัดน้ำเสียในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ

กลไกการทำงาน	ชนิดของสิ่งเจือปนที่บำบัดได้
วิธีการทางกายภาพ	
การตกตะกอน	ของแข็งแขวนลอย สารแขวนลอย BOD ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โลหะหนัก จุลินทรีย์และเชื้อโรคบางชนิด
การกรองและการดูดซับ	ของแข็งแขวนลอยและสารแขวนลอยขนาดเล็ก
วิธีการทางเคมี	
การตกตะกอนทางเคมี	ฟอสฟอรัส โลหะหนัก และสารอินทรีย์ต่าง ๆ
การดูดซับและการย่อยสลาย	ฟอสฟอรัส โลหะหนัก และสารอินทรีย์ต่าง ๆ
วิธีการทางชีวภาพ	
Metabolism ของพืชและสัตว์	สารแขวนลอย BOD ไนโตรเจน โลหะหนัก สารอินทรีย์และเชื้อโรค
การดูดซึมของพืช	ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โลหะหนักและสารอินทรีย์

หมายเหตุ จาก “ทางเลือกใหม่ของการบำบัดน้ำเสีย,” โดย สมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย, 2537, วิศวกรรมสาร, ปีที่ 47, 84

ในการกำจัด BOD สารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้จะจมตัวลงสู่ก้นบึง ย่อยสลายแล้วซึมลงดิน ส่วนสารละลายอินทรีย์ที่ไม่ตกตะกอนจะถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ทั้งที่เกาะติดอยู่กับพืชน้ำและที่แขวนลอยอยู่ ออกซิเจนส่วนใหญ่จะได้มาจากการสัมผัสอากาศที่ผิวน้ำและออกซิเจนจากใบสู่ราก ทำให้เกิดสภาวะออกซิเจนบาง ๆ ที่บริเวณรากพืช (Rhizophere) ส่วนออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายมีน้อย เนื่องจากการเจริญเติบโตของสาหร่ายถูกจำกัดจากการบดบังแสงแดดของพืชโผล่พ้นน้ำ (Reed, Middlebrooks, and Crites, 1988)

การกำจัดสารแขวนลอยในน้ำเสียเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับการกำจัด BOD ส่วนใหญ่จะจมตัวในช่วงต้น ๆ ของพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยเฉพาะเมื่อเวลากักเก็บน้ำนาน การไหลของน้ำที่ค่อนข้างช้าและความหนาแน่นของพืชน้ำจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนของสารแขวนลอย พืชน้ำจะจับของแข็งแขวนลอยไว้ในชั้นที่มีการสะสมของซากพืชและสัตว์ (Litter Layer) ช่วยป้องกันการกลับคืนสู่สภาพสารแขวนลอย

การกำจัดไนโตรเจนจะเป็นไปตามกระบวนการไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) และ ดีไนตริ-ฟิเคชั่น (Denitrification) แอมโมเนียจะถูกแปรไปเป็นไนเตรท โดย Nitrifying Bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจน ดังนั้นกระบวนการนี้จึงเกิดในส่วนแอโรบิก (Aerobic Zone) หลังจากนั้นไนเตรทจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนในส่วนแอนแอโรบิก (Anaerobic Zone) โดย Denitrifying Bacteria นอกจากนี้ไนโตรเจนยังถูกกำจัดโดยการดูดซึมของพืช

สารประกอบฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำจะมาจากน้ำที่ไหลเข้าและการจมตัวของบรรยากาศ (Atmospheric Deposit) ส่วนใหญ่จะพบฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายน้ำได้ รูปของแข็งและฟอสฟอรัสอินทรีย์ในรูปของแข็ง กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสจะเกิดขึ้นที่ชั้นดินเป็นส่วนใหญ่ หากดินมีส่วนผสมของเหล็ก อลูมิเนียมและแคลเซียม ก็จะช่วยส่งเสริมการกำจัดได้ดีขึ้น (ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, 2528) ส่วนพืชน้ำจะดูดซึมฟอสฟอรัสผ่านทางรากและนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ เมื่อพืชตายและย่อยสลาย จะคายฟอสฟอรัสออกมาบางส่วน ส่วนที่เหลือจะจมอยู่กับซากพืช

กลไกการกำจัดโลหะประกอบด้วย การจับ (Binding) ของอนุภาคดิน ตะกอนและอนุภาคอื่น ๆ และสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้, การตกตะกอน (Precipitation) ในรูปของเกลือที่ไม่ละลายน้ำส่วนใหญ่ในรูปของโลหะซัลไฟด์และโลหะไฮดรอกไซด์ และการดูดซึมของพืช รวมถึงสาหร่ายและแบคทีเรีย

แบคทีเรียและไวรัสจะถูกกำจัดโดยการตกตะกอน, การกรอง ,การดูดซึม และการตายเมื่ออยู่สภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิ, pH, การแผ่รังสีอัลตราไวโอเลต และผู้ล่า โดยการกำจัดแบคทีเรียและไวรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำขึ้นอยู่กับเวลากักเก็บน้ำและอุณหภูมิ

2.3 จลนศาสตร์ของพื้นที่ชุ่มน้ำ

U.S. EPA. (1988) อธิบายการกำจัด BOD ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว โดยสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$C_e = C_0 \times \exp\left(-K_T \times t\right) \qquad (2.1)$$

โดยที่

C_o = BOD ในน้ำออก, mg/L

C_e = BOD ในน้ำเข้า, mg/L

K_T = ค่าคงที่ปฏิกิริยาขึ้นกับอุณหภูมิ , 1/d

t = เวลากักเก็บน้ำ, วัน

ค่าคงที่ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิดังสมการ

$$K_T = K_{20} \times \theta^{(T-20)} \qquad (2.2)$$

โดยที่

K_{20} = ค่าคงที่ปฏิกิริยาที่ 20 °C

T = อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ, °C

θ = สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ

Reed et al. (1988) ได้ปรับปรุงสมการการกำจัด BOD โดยมีปฏิกิริยาอันดับหนึ่งและมีการไหลแบบท่อ ดังสมการ 2.3

$$\frac{C_e}{C_0} = F \exp\left[-0.7 K_T \left(A_v\right)^{1.75} t\right] \qquad (2.3)$$

หรือ

$$\frac{C_e}{C_0} = F \exp\left[-0.7 K_T \left(A_v\right)^{1.75} LW\left(\frac{d_n n + d_w}{Q}\right)\right] \qquad (2.4)$$

โดยที่

A_V = พื้นที่ผิวสัมผัสสำหรับกิจกรรมของจุลินทรีย์, m^2/m^3

L = ความยาวของพื้นที่ชุ่มน้ำ, m

W = ความกว้างของพื้นที่ชุ่มน้ำ, m

d_n = ความลึกของดิน, m

d_w = ความลึกของระดับน้ำจากผิวดิน, m

n = อัตราส่วนช่องว่างดิน

Q = ค่าเฉลี่ยอัตราการไหล $(Q_{in} + Q_{out})/2$, m^3/d

F = เศษส่วนของ BOD ที่ไม่สามารถกำจัดได้โดยการตกตะกอนของของแข็งใกล้กับทางเข้าของน้ำในระบบ (ปกติค่า F จะมีค่าเท่ากับ 0.52 สำหรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นหรือน้ำเสียจากถังเกรอะ)

สามารถหาค่า t ได้จาก

$$t = LW\left(\frac{d_n n + d_w}{Q}\right) = A\left(\frac{d_n n + d_w}{Q}\right) \qquad (2.5)$$

โดยที่

A = พื้นที่ของพื้นที่ชุ่มน้ำ, m^2

และค่า n หาได้จาก

$$n = \frac{V_V}{V} \qquad (2.6)$$

โดยที่

V_V = ปริมาตรช่องว่างดิน

V = ปริมาตรดินทั้งหมด

2.4 การศึกษาสารติดตามของพื้นที่ชุ่มน้ำ

การศึกษาสารติดตาม (Tracer Study) เพื่อหาเวลากักเก็บน้ำที่แท้จริงและตัวประกอบการกระจาย (d) โดยตัวประกอบการกระจายสามารถหาได้ ดังสมการต่อไปนี้ (Levenspiel, 1972)

ค่าเวลากักเก็บน้ำที่แท้จริง, $$t = \frac{\sum t_i C_i \Delta t_i}{\sum C_i t_i} \qquad (2.7)$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน,
$$\sigma^2 = \left[\frac{\sum t_i^2 C_i \Delta t_i}{\sum C_i \Delta t_i} \right] - t^2 \qquad (2.8)$$

$$\frac{\sigma^2}{t^2} = 2d + 8d^2 \qquad (2.9)$$

ตัวประกอบการกระจาย (d) สามารถบ่งบอกถึงลักษณะต่าง ๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบการกระจาย (d) กับลักษณะการไหล

ตัวประกอบการกระจาย (d)	ลักษณะการไหล
0	การไหลแบบท่อ
0.002	การกระจัดกระจายมีน้อย
0.025	การกระจัดกระจายปานกลาง
0.2	การกระจัดกระจายมีมาก
∞	การไหลแบบกวนสมบูรณ์

หมายเหตุ จาก Chemical Reaction Engineering (277), โดย Levenspiel, 1972, New York: Wiley International.

2.5 ปัจจัยสำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

2.5.1 อุทกวิทยาพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (Wetland Hydrology)

น้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำจะมีผลต่อดินและสารอาหาร ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องไปยังสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ อัตราการไหล ปริมาณน้ำและเวลากักเก็บน้ำมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารต่าง ๆ ในพื้นที่ชุ่มน้ำ สิ่งสำคัญที่ต้องทราบเกี่ยวกับอุทกวิทยาในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ได้แก่

1. อัตราภาระชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate, HLR (q); หน่วย : cm/d, m/d, m/y)

$$q = \frac{Q}{A} \qquad (2.10)$$

โดยที่ A = พื้นที่ของพื้นที่ชุ่มน้ำ (m^2)

Q = อัตราการไหลของน้ำ (m^3/d)

2. เวลากักเก็บน้ำ (Detention Time, t ; หน่วย: วัน)

$$t = \frac{V}{Q} \qquad (2.11)$$

โดยที่ V = ปริมาตรน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำ (m^3)

Q = อัตราการไหล (m^3/d)

3. ความลึกของน้ำ (Water Depth, h; หน่วย: m, cm)

$$h = H-G \qquad (2.12)$$

โดยที่ H = ความสูงของระดับน้ำ (m)

G = ความสูงของระดับดิน (m)

ระดับน้ำที่เหมาะกับพืชน้ำแต่ละชนิดจะมีระดับแตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง 2.3

ตารางที่ 2.3 ระดับน้ำที่เหมาะกับพืชแต่ละชนิด

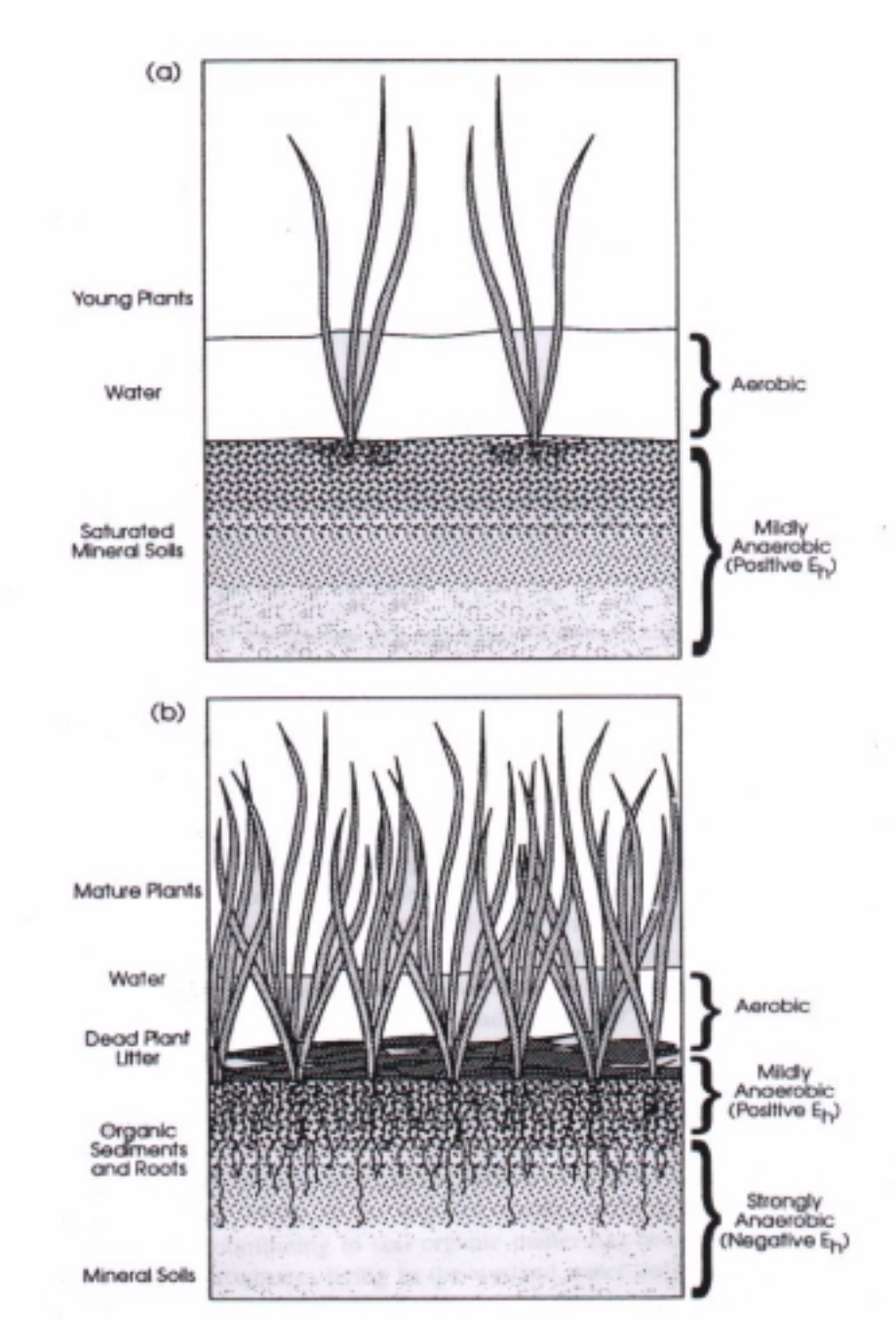
พืชน้ำ	ความลึกของน้ำ (m)
Cattail	> 0.15
Reed	> 1.5
Bulrushes	0.05 – 0.25
Sedge	> 0.25

หมายเหตุ จาก Design Manual: Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment (24), โดย U.S.EPA., 1988, Ohio: U.S.EPA. CERI.

2.5.2 ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland Soil)

ดินพื้นที่ชุ่มน้ำเป็นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำและเป็นดินที่มีการสะสมของสารอินทรีย์ (Organic Soil) ดังภาพที่ 2.2 ลักษณะทางกายภาพของดินมีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากจะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพและความสามารถในการกำจัดหรือลดสารปนเปื้อนในน้ำเสีย ดินทรายหรือดินเม็ดใหญ่ ระยะเวลาสัมผัสระหว่างน้ำกับดินจะน้อยและมีสารอาหารในดินน้อย ส่วนดินเหนียว แม้ว่าระยะเวลาสัมผัสจะนานแต่พืชจะเติบโตหรือแทรกรากผ่านได้ยาก จึงไม่เหมาะในการใช้บำบัดน้ำเสีย สำหรับทรายและกรวดจะใช้ได้ เมื่อน้ำเสียมีสารอาหารสูง เช่น น้ำเสียชุมชนและน้ำเสียการ

เกษตร ในสหรัฐอเมริกา พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวมีหลายแห่งที่ใช้กรวดขนาดกลางจนถึงหินหยาบ (Davis, DuPoldt, and Edward, 1997)

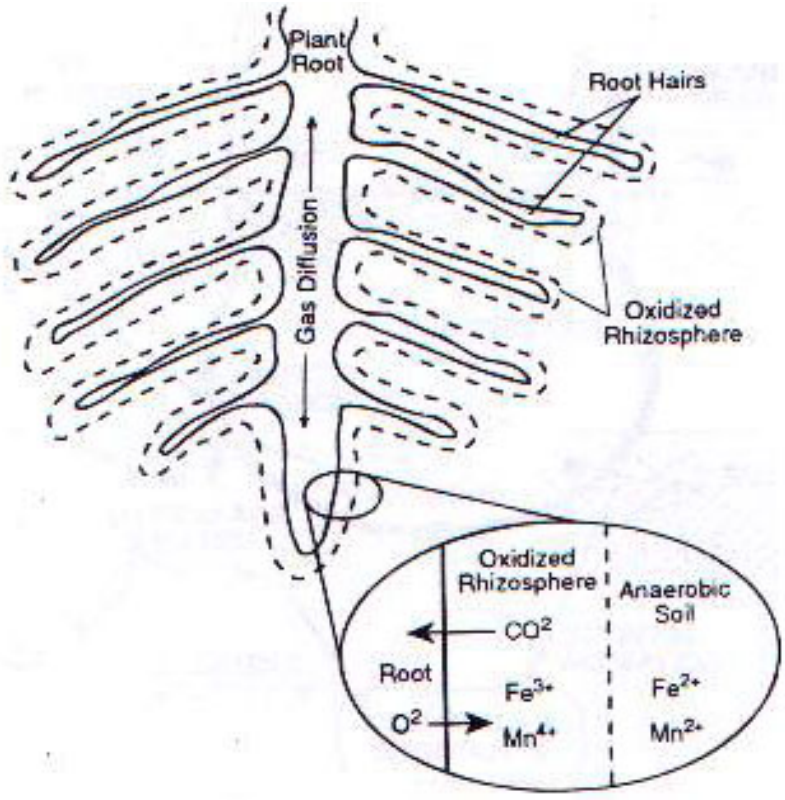


หมายเหตุ จาก Treatment Wetlands. (66), Kedlec and Knight, 1996, Boca Raton: Lewis.

ภาพที่ 2.2 แสดงสภาวะของดินในพื้นที่ชุ่มน้ำ
a. ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำระยะแรก
b. ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีระบบที่พัฒนาเต็มที่ (Mature Wetlands)

2.5.3 พืชพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland Plant)

ปัจจุบันพื้นที่ชุ่มน้ำนิยมใช้พืชโผล่พ้นน้ำ (Emergent Plant) เช่น ธูปฤาษี (Typha spp.) และกก (Scirpus spp.) ในการบำบัดน้ำเสียมากกว่าการใช้พืชลอยน้ำ (Floating Plant) เนื่องจากพืชลอยน้ำไม่สามารถทนกับอากาศหนาวและศัตรูพืชได้ นอกจากนี้รากของพืชโผล่พ้นน้ำยังช่วยเพิ่มพื้นผิวสำหรับการยึดเกาะของจุลินทรีย์ ช่วยเคลื่อนย้ายแก๊สต่าง ๆ รวมถึงออกซิเจนจากยอดลงสู่ราก ทำให้เกิดสภาพออกซิเจนเป็นฟิล์มบาง ๆ (เรียกว่า Rhizosphere) รอบ ๆ ราก ดังภาพที่ 2.3 ซึ่งทำให้จุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนรูปสารอาหาร อิออนโลหะ และสารประกอบอื่น ๆ ได้ มีทำให้คุณภาพน้ำดี โดยทั่วไปพืชน้ำจะมีส่วนในการบำบัดน้ำเสียน้อยมาก ซึ่งหน้าที่ของพืชน้ำคือ เป็นตัวช่วยปรับสภาวะแวดล้อม เพื่อช่วยให้การบำบัดน้ำเสียเป็นไปด้วยดี (จงรักษ์ ผลประเสริฐ, 2543)



หมายเหตุ จาก Treatment Wetlands. (77), Kedlec and Knight, 1996, Boca Raton: Lewis.

ภาพที่ 2.3 รากพืชโผล่พ้นน้ำที่เกิดสภาพออกซิเจนเป็นฟิล์มบาง ๆ (Rhizospere)

เนื่องจากพืชน้ำมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ แต่ยังมีข้อจำกัดในการใช้ ดังนั้นการเลือกพืชน้ำที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็น พัฒนี จันทรโรทัย (2536) ได้สรุปคุณสมบัติของพืชน้ำที่จะนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำดังนี้

1. สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ในท้องถิ่นนั้น ๆ นอกจากนี้ยังต้องสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป
2. มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงและเจริญเติบโตดี
3. มีความสามารถในการส่งผ่านออกซิเจนได้สูง พืชน้ำจะมีคุณสมบัติในการนำออกซิเจนจากบรรยากาศส่งผ่านลงมาตามใบ ลำต้น และราก โดยพืชน้ำจำพวกธูปฤาษี จะมีชั้นรากหนาประมาณ 0.30 m และรากพืชจำพวก กก, แฝก จะหยั่งลึกลงถึง 0.70 m
4. สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษได้ในช่วงที่กว้าง
5. มีความสามารถในการดูดซึมและเก็บสะสมสารต่าง ๆ ได้
6. มีความทนทานต่อโรคและแมลงต่าง ๆ ได้ดี
7. ต้องง่ายต่อการจัดการ โดยเฉพาะการนำพืชออกจากระบบ เนื่องจากพืชน้ำจะสามารถลดปริมาณสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำให้ได้ผลดีที่สุดนั้น ต้องมีการนำพืชน้ำออกจากระบบบ้างเพื่อไม่ให้พืชอยู่กันหนาแน่นเกินไป

US Army Corps of Engineering (1993) แนะนำให้ใช้พืชจากบริเวณใกล้เคียง ในรัศมี 100 ไมล์ ทางเส้นรุ้ง,ความยาว 200 ไมล์ ทางเส้นแวง และระดับความสูงไม่เกิน 1,000 ฟุต ในรัฐฟลอริ-ดาแนะนำให้ใช้พืชที่อยู่ในรัศมี 50 ไมล์ โดยนักนิเวศน์วิทยาได้อธิบายว่าหากนำพืชจากบริเวณอื่นมาการเจริญเติบโตอาจถูกยั้บยั้ง (Davis et al., 1997)

สำหรับพืชโผล่พ้นน้ำที่เลือกในการวิจัยครั้งนี้มี 2 ชนิด คือ

(ก.) กกกลม Cyperus corymbosus Rottb. ชื่อสามัญ Sedge อยู่ในวงศ์ Cyperaceae เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว มีอายุได้หลายปี ส่วนใหญ่พบขึ้นทั่วไปตามที่ลุ่มชื้นแฉะและหนองบึง ตลอดจนดินเลนตามชายทะเล ช่วง pH ที่เหมาะสมคือ 5-7.5 ทนความเค็มได้น้อยกว่า 0.5 ppt เจริญเติบโตด้วย Rhizome มีการแตกกิ่งสามารถขึ้นได้ดีในที่มีน้ำท่วมขัง ระดับน้ำที่อยู่ได้คือ ไม่เกิน 0.50 m กกกลมอาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กกสานเสื่อและกกจันทบุรี ลักษณะกกกลมจะมีลำต้นกลม มีลำต้นส่วนปลายใกล้ ๆ กับดอกเท่านั้นที่เป็นสามเหลี่ยม ลำต้นสีเขียวเข้มเป็นมัน สูงประมาณ 1-2 m ดอกมีขนาดเล็กเป็นฝอยอยู่รวมกันเป็นช่อดอกเมื่อยังอ่อนมีสีเขียวอ่อน พออายุมากขึ้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน ใบที่โคนต้นจะเปลี่ยนเป็นเกล็ดหรือแผ่นสีน้ำตาลห่อโคนต้นหรือเหง้า โคนช่อดอกมีใบประดับรองรับ ใบประดับของช่อดอกเป็นแผ่นใบยาวเรียวสั้นกว่าความยาวของช่อดอก เป็นกกที่ปลูกกันมา

นานแล้วทางภาคตะวันออก แถบจังหวัดจันทบุรี ตราด และระยอง แต่ปลูกกันมากที่สุดที่จังหวัดจันทบุรี (สุชาดา ศรีเพ็ญ, 2530)

(ข.) ธูปฤาษี Typha angustifolia Linn. (Cattail) มีชื่อสามัญว่า Narrow-leaved Cattail จัดอยู่ในตระกูล Typhaceae เรียกอีกชื่อว่า กกช้าง, กกธูป, เฟื้อ (กลาง), ปรือ (ใต้) และ หญ้าสลาบหลวง (เหนือ) พบกระจายอยู่ทั่วไปทุกภาค พบในที่ลุ่มน้ำจืดและน้ำเค็ม ถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ในทวีปยุโรปและอเมริกา ปัจจุบันแพร่หลายไปทั่วโลก (ราชบัณฑิตยสถาน, 2538) ช่วงพีเอชที่เหมาะสมแก่การเจริญคือ 4-7 ทนความเค็มอยู่ได้ในระดับ 15-30 ppt ธูปฤาษีสูงประมาณ 1-3 m เจริญเติบโตเร็ว ลำต้นใต้ดินมีส่วนที่คล้ายราก (rhizome) ยาว แตกกิ่งก้านสาขาลำต้นเหนือดินแข็ง ประกอบด้วยใบแตกออกเป็นแผงสองแนว โคนใบแผ่เป็นกาบอวบหนาหุ้มประกอบต้นไว้ ใบแก่อยู่ด้านนอกหุ้มใบอ่อนไว้ข้างใน กาบใบด้านในมีเมือกเหนียว ๆ ขอบใบหนา โคนใบอวบหนากว่าปลายใบ แผ่นใบมีสีเขียวเข้ม ดอกออกเป็นช่อแบบ Spike แน่น รูปทรงกระบอก ช่อดอกมองดูเหมือนธูปใหญ่ ๆ ดอกย่อยแยกเพศ ดอกตัวผู้อยู่ตอนบนของช่อดอก ส่วนดอกตัวเมียอยู่ด้านล่าง (สุชาดา ศรีเพ็ญ, 2530) ระดับความลึกของรากประมาณ 0.30 m หรือ 1 ฟุต ระดับความลึกของน้ำในช่วงที่อยู่ได้คือ 0.10-0.75 m แต่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในระดับน้ำลึกไม่เกิน 0.30 m สำหรับประโยชน์จากธูปฤาษี ใบยาวและเหนียวนิยมใช้ทำเครื่องจักรสาน เช่น เสื่อ ตะกร้า ใช้มุงหลังคาและทำเชือก ดอกแก่จัดมีขนปุยนุ่ม มือลักษณะคล้ายปุยนุ่นจึงนิยมใช้แทนนุ่น ยอดอ่อนกินได้ทั้งสดและทำให้สุก ช่อดอกปิ้งกินได้ แป้งที่ได้จากลำต้นใต้ดินและรากใช้บริโภคได้เช่นกัน ในอินเดียเคยใช้ก้านช่อดอกทำปากกา และเชื่อว่าลำต้นใต้ดินและรากใช้เป็นยาบำบัดโรคบางชนิด เช่น ขับปัสสาวะ เยื่อ (Pulp) นำมาใช้ทำใยเทียม (Rayon) และกระดาษได้ เส้นใยมีสีขาวและสีน้ำตาลอ่อน นำมาทอเป็นผ้าใช้แทนฝ้ายหรือขนสัตว์ รากของต้นธูปฤาษีมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหาร ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่อยู่ในน้ำเสียได้ค่อนข้างสูง ธูปฤาษีสามารถกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียในที่ลุ่มต่อไร่ได้ถึง 400 kg/y และสามารถดูดเก็บโพแทสเซียมต่อไร่ได้ถึง 690 kg/y (ราชบัณฑิตยสถาน, 2538)

2.6 เกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลผ่านพื้นผิว

การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลผ่านพื้นผิวมักคำนึงถึงระยะกักเก็บ, ความลึกของน้ำและอัตราส่วนกว้าง/ยาว ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลผ่านพื้นผิว

รายละเอียด	Crites (1994)	Metcalf & Eddy (1991)	Reed et al.(1988)
เวลากักเก็บน้ำ, วัน	5-14	4-15	-
อัตราภาระอินทรีย์, kg BOD/ha·d	≤80	≤67	<112
อัตราภาระชลศาสตร์, mm/d	7-60	14-47	-
อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง	2:1 – 10:1	≥10:1	>10:1
ระดับน้ำ, m	0.1-0.5	0.1-0.6	0.1-0.45
ระยะเก็บเกี่ยว, ปี	3-5	-	-

2.7 น้ำเสียฟาร์มสุกร

การทำฟาร์มสุกรก่อให้เกิดของเสีย ซึ่งของเสียฟาร์มสุกรจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่สุกรได้รับ เพศ อายุของสุกร ปริมาณและคุณภาพของอาหารที่กิน ระยะเวลาในการให้อาหารและประสิทธิภาพของการใช้อาหารของสุกร โดยของเสียที่เกิดจากฟาร์มสุกรแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นของแข็ง ได้แก่มูลสุกรและเศษอาหารที่ตกค้างในคอก ซึ่งผู้เลี้ยงสามารถเก็บรวบรวมมูลสุกรไปทำปุ๋ยได้ ของเสียอีกส่วนคือ ส่วนที่เป็นของเหลว ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดคอก โรงเรือน และตัวสุกร ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดล้างตัวสุกรแต่ละวันมีค่าในช่วง 30-40 ลิตรต่อตัว (สุชาติ ทีฆกุล, 2531; สุชาติ ทีฆกุล และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2534)

น้ำเสียฟาร์มสุกรส่วนใหญ่เกิดจากการล้างทำความสะอาดคอกและโรงเรือนสุกร ปริมาณและลักษณะของน้ำเสียขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ โดยเฉพาะวิธีการทำความสะอาดคอก เช่น ถ้ามีการเก็บกวาดมูลสุกรออกจากพื้นคอกก่อนใช้น้ำฉีดล้าง ความสกปรกของน้ำเสียจะต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำฉีดล้างพื้นคอกเลย โดยไม่มีการเก็บกวาดมูล (กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรมควบคุมมลพิษ, 2542) การทำความสะอาดคอกสุกรจะแตกต่างกันไปตามท้องถิ่น ฟาร์มสุกรขนาดเล็กที่อยู่ห่างไกล หรือขาดแคลนน้ำมักจะไม่ทำการฉีดน้ำล้างทำความสะอาดคอก หากแต่จะทำความสะอาดโดยการเก็บกวาดมูลสุกรออกจากคอกนำไปตากแห้งเพื่อขายต่อไป ในกรณีนี้ไม่เกิดปัญหามลพิษต่อแหล่งน้ำมากนัก ส่วนฟาร์มสุกรที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำหรือไม่ประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำจะทำความสะอาดคอกสุกรด้วยการฉีดน้ำล้างคอกทุกวัน น้ำที่ล้างคอกแล้วจะมีของเสียที่เป็นองค์ประกอบของมูลและปัสสาวะ ของสุกร การจัดการน้ำเสียที่เกิดขึ้นเกษตรกรมักปล่อยลงสู่แหล่งน้ำที่อยู่ใกล้ ๆ (สุชาติ ทีฆกุล, 2531; สุชาติ ทีฆกุล และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2534) ถึงแม้ฟาร์มสุกรส่วนใหญ่จะมีช่องพักท้ายคอกหนึ่งบ่อ ส่วนมากเป็นบ่อขนาดเล็ก ดังนั้นของเหลวที่ล้นก็

จะไหลออกไปสู่คูคลองและแม่น้ำ ทำให้เกิดน้ำเสียที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อแหล่งน้ำธรรมชาติอย่างมาก (จรัญ จันทลักขณา, 2540) เช่น ปัญหาที่เกิดขึ้นในคลองเจดีย์บูชา, แม่น้ำท่าจีนช่วงที่ผ่านอำเภอสามพราน และแม่น้ำบางประกงในภาคตะวันออก

สุชาติ ทีฆกุล (2531) ได้รายงานว่าปริมาณน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ทำความสะอาดคอกสุกรโดยการฉีดล้างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.2 ลิตรต่อตัวต่อวัน และปริมาณ BOD ที่เกิดจากฟาร์มสุกรเท่ากับ 103.36 กรัมต่อตัวต่อวัน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โดยกรมควบคุมมลพิษ (2543) ได้ดำเนินการสำรวจลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกรทั่วประเทศพบว่า โดยทั่วไปฟาร์มสุกรจะมีการล้างคอกวันละ 1 ครั้ง ปริมาณน้ำที่ใช้ล้างคอกประมาณวันละ 10-20 ลิตรต่อตัวต่อวัน ฟาร์มสุกรขนาดเล็กจะใช้น้ำมากกว่าฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดใหญ่ โดยใช้น้ำประมาณ 20 ลิตรต่อตัวต่อวัน ขณะที่ฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดใหญ่จะใช้น้ำ 15 และ 10 ลิตรต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ น้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดเล็กมีค่าความสกปรกในรูป BOD โดยเฉลี่ยประมาณ 1,500 mg/L ส่วนน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดใหญ่มีค่าความสกปรกในรูป BOD โดยเฉลี่ยประมาณ 2,500 และ 3,000 mg/L ตามลำดับ จากการประเมินความสกปรกรวมที่เกิดขึ้นจากฟาร์มสุกร พบว่า มีทั้งหมดประมาณ 122.6 kg BOD/d ฟาร์มขนาดเล็กทำให้เกิดปริมาณความสกปรกประมาณ 22.0 kg BOD/d คิดเป็นร้อยละ 18 ของปริมาณความสกปรกที่เกิดขึ้นทั้งหมด ขณะที่ฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดใหญ่ทำให้เกิดปริมาณความสกปรกรวมประมาณ 54.6 และ 46.0 kg BOD/d คิดเป็นร้อยละ 45 และ 37 ของปริมาณความสกปรกรวมที่เกิดขึ้นทั้งหมด

Gray, Uvarkin, and Biddlestane (1991) ได้ทำการวิจัยการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟาร์มสุกรในรัสเซียที่มีการผลิตสุกรปีละ 12,000-216,000 ตัว โดยลักษณะสมบัติน้ำเสียมีค่า COD 5-44 g/L, BOD 1.2-33 g/L, SS 40.2 g/L, TN 1.7-4.4 g/L และ TP 0.5-1.6 g/L นำน้ำเสียอุตสาหกรรมฟาร์มสุกรมาบำบัดโดยผ่านตะแกรงกรอง, ถังเติมอากาศ 2 ขั้นตอน ลักษณะสมบัติน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดมีค่า COD 300-1,000 mg/L, BOD 55-920 mg/L, SS 35-780 mg/L, TN 100-500 mg/L และ TP 35-200 mg/L และยังทำการศึกษาการบำบัดโดยผ่านตะแกรงกรอง, ถังเติมอากาศและบ่อผึ่ง ลักษณะสมบัติน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดมีค่า COD 150-200 mg/L, BOD 30-80 mg/L, NH_3-N 30-40 mg/L และ TP 40-50 mg/L ในปี 2000 Costa, Bavaresco, Medri, and Philippi ได้ทำการวิจัยการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรในบ่อผักตบชวา พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัด COD, BOD, TN, TP ประมาณ 50 % เมื่อเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 20 วัน

2.7.1 ฟาร์มสุกรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ฟาร์มสุกรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมีเนื้อที่ประมาณ 6 ไร่ ประกอบด้วยสองโรงเรือน

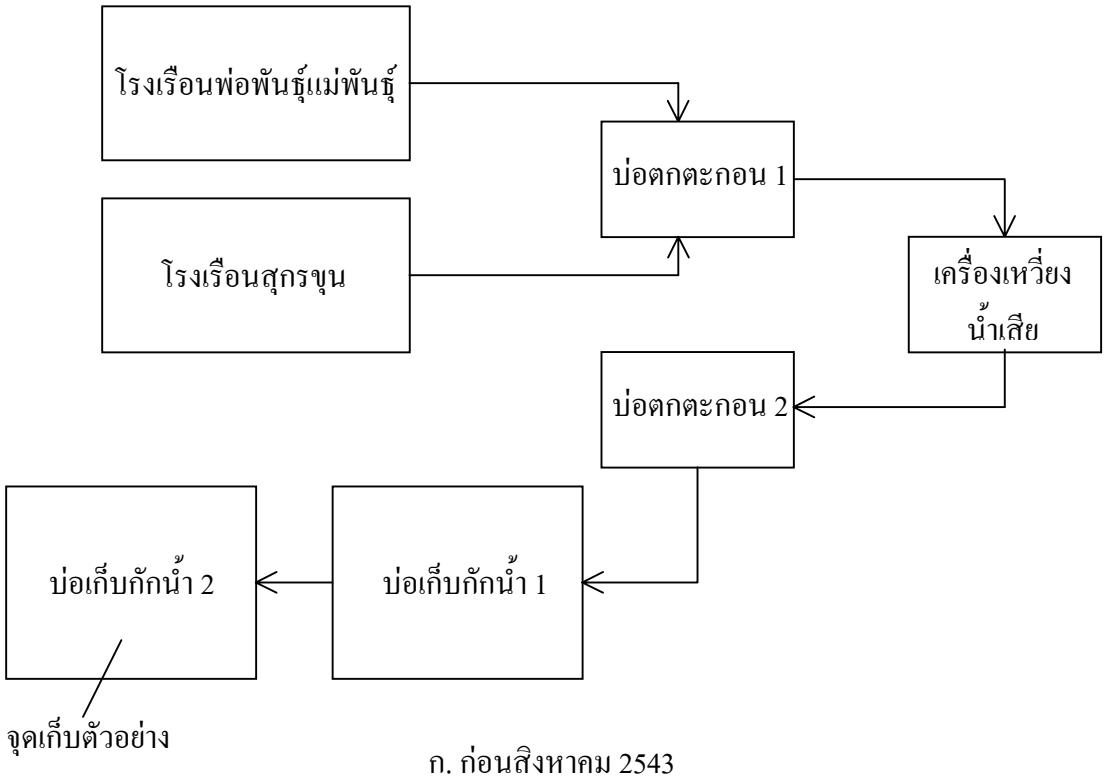
โรงเรือนแรกขนาดกว้าง 12 m และยาว 54 m เป็นโรงเรือนพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ และโรงเรือนสุกรขุน มีขนาดกว้าง 10 m และยาว 64 m จำนวนสุกรประมาณ 800 ตัว จำนวนและประเภทแยกได้ตามตารางที่ 2.5 ปริมาตรน้ำที่ใช้ในแต่ละวันเท่ากับ 30,000 L/d ในแต่ละวันจะทำการล้างคอกสุกร 2 เวลาคือ ช่วงเช้าและเย็น ประมาณ 30 min น้ำเสียที่เกิดขึ้นประกอบด้วยมูลสุกร อาหารที่กินเหลือ น้ำล้างคอก ฯลฯ จะไหลเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียดังภาพที่ 2.4ก โดยเริ่มจากน้ำเสียจากโรงเรือนทั้ง 2 โรงเรือนจะไหลไปยังบ่อตกตะกอนบ่อแรกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 m และลึก 5 m เพื่อตกตะกอนขั้นต้น จากนั้นน้ำเสียจะเข้าสู่เครื่องเหวี่ยง เพื่อแยกมูลสุกรออกจากน้ำเสีย น้ำเสียที่ผ่านการเหวี่ยงจะเข้าสู่บ่อตกตะกอน 2 ซึ่งมีขนาดเท่ากับบ่อตกตะกอนแรก เมื่อน้ำเสียผ่านบ่อตกตะกอน 2 จะเข้าสู่บ่อเก็บกักน้ำขนาดกว้าง 20 m ยาว 20 m และลึก 2-3 m จำนวน 2 บ่อ ซึ่งต่อกันแบบอนุกรม และน้ำเสียในบ่อเก็บกักน้ำทั้ง 2 บ่อนี้จะไม่มีการปล่อยทิ้งไป แต่จะให้ระเหยไปเอง

ตารางที่ 2.5 ประเภท น้ำหนักตัวและจำนวนสุกรในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

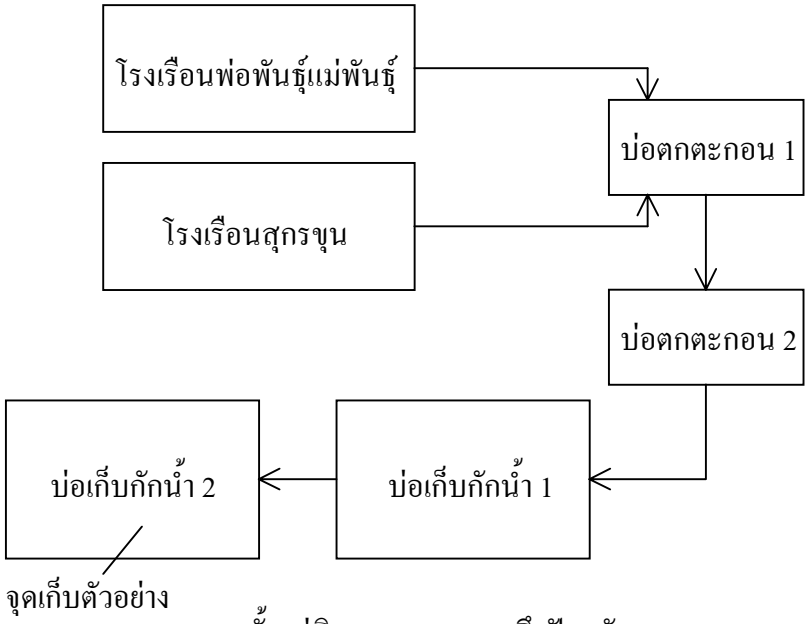
ประเภท	น้ำหนักตัวโดยประมาณ (kg)	จำนวน (ตัว)
สุกรเล็ก	15	114
สุกรหย่านม	30	221
สุกรขุน	70	150
สุกรขุน	90	200
แม่สุกรไม่อุ้มท้อง	125	75
แม่สุกรเลี้ยงลูก	170	30
พ่อพันธุ์	160	8

น้ำเสียฟาร์มสุกรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีได้เปลี่ยนแปลงวิธีการทำความสะอาดโรงเรือน ตั้งแต่ช่วงฤดูฝนในปี พ.ศ. 2542 (ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2542) ส่วนที่เปลี่ยนแปลง คือ จะเก็บมูลสุกรออกจากโรงเรือนเกือบตลอดเวลา จากนั้นจึงล้างโรงเรือนตามปกติ สาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวิธีการทำความสะอาดโรงเรือนคือ ในช่วงฤดูฝน เครื่องเหวี่ยงทำงานหนักมากจึงเสียดังนั้นทางฟาร์มสุกรจึงได้ตัดสินใจให้มีการเก็บมูลสุกรเกือบตลอดเวลา เพื่อให้น้ำเสียฟาร์มสุกรสกปรกน้อยลงและเพื่อเก็บมูลสุกรไปใช้ประโยชน์ หลังจากพ้นช่วงฤดูฝนก็ยังคงใช้วิธีเก็บมูลสุกรเช่นเดิมและยกเลิกการใช้เครื่องเหวี่ยง ทั้งนี้เพื่อประหยัดค่าไฟฟ้าและฟาร์มสุกรยังมีการจ้างแรงงานเพิ่มขึ้นจึงไม่มีปัญหาในการเก็บมูลสุกร ดังนั้นวิธีการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรในปัจจุบันคือ หลังจาก

การล้างโรงเรือนและรวบรวมน้ำเสียฟาร์มสุกรของโรงสุกร น้ำเสียจะเข้าบ่อตกตะกอน 1 และ 2 ตามลำดับ และเข้าบ่อเก็บกักน้ำ 1 และ 2 ดังภาพที่ 2.4ข การวิจัยใช้น้ำเสียในบ่อเก็บกักน้ำ 2



ก. ก่อนสิงหาคม 2543



ข. ตั้งแต่สิงหาคม 2543 จนถึงปัจจุบัน

ภาพที่ 2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

ระเบียบวิธีการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสีย

สำหรับการวิจัยนี้นำน้ำเสียฟาร์มสุกรจากบ่อเก็บกักน้ำ 2 มาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำโดยวิเคราะห์ตามวิธีการใน “Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater” (1995) ดังตารางที่ 3.1 เพื่อหาลักษณะสมบัติน้ำเสียที่เข้าแบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ซึ่งเป็นบรรทัดฐานในการประเมินหาประสิทธิภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ลักษณะสมบัติน้ำเสียฟาร์มสุกรที่เข้าแบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แสดงในตารางที่ 3.2 (รายละเอียดแสดงในตารางที่ 1ข)

ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสีย

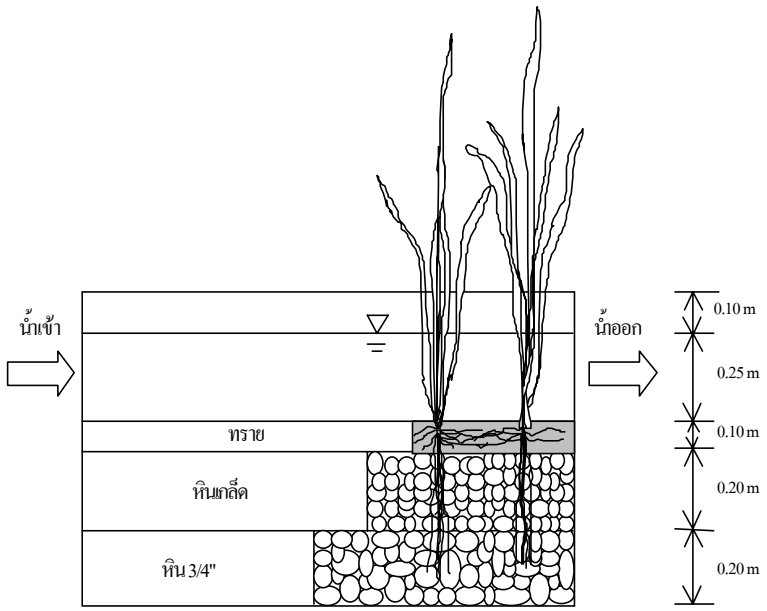
ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	วิธีวิเคราะห์
COD	Open dichromate reflux
BOD_5	Azide modification
TSS	Filtration/Evaporation
TDS	Evaporation
TKN	Digestion/Distillation
NO_3-N	Sodium salicylate method
TP	Persulphate digestion
Total Coliform Bacteria	Membrane-Filter

3.2 การสร้างแบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

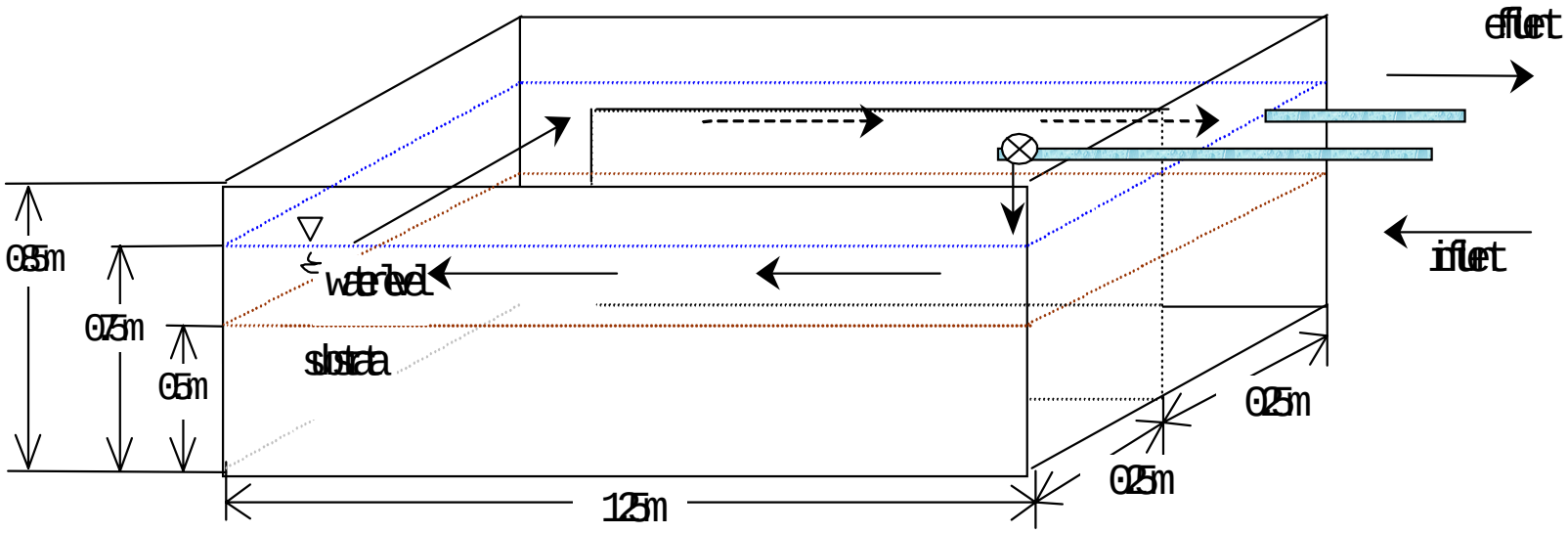
สร้างแบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ด้วยแผ่นสังกะสีให้มีลักษณะเป็นบ่อ โดยมีขนาดกว้าง 0.25 m, ยาว 1.25 m และลึก 0.85 m จำนวน 8 บ่อ ดังภาพที่ 3.1 และ 3.2 หลังจากนั้นนำหินขนาด 3/4″, หินเกล็ด และทราย ใส่ลงในแบบจำลองให้มีระดับสูง 20 cm, 20 cm และ 10 cm ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราส่วนช่องว่างเท่ากับ 0.4 ปรับระดับพื้นบ่อให้ราบเรียบสม่ำเสมอ

ตารางที่ 3.2 ลักษณะสมบัติน้ำเสียฟาร์มสุกรจากบ่อเก็บกักน้ำ 2 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	ช่วงค่า	ค่าเฉลี่ย
pH	7.52 - 8.88	8.2
DO (mg/L)	3.9 - 5.3	4.6
T ($^{\circ}$C)	26.65 - 32.37	29.51
COD (mg/L)	293.47 - 464.61	378.04
BOD (mg/L)	120.17-177.69	148.93
TSS (mg/L)	79.5 - 158.42	118.96
TDS (mg/L)	809 – 1,104.74	956.87
TKN (mg/L)	28.23- 46.19	37.21
NO_3-N (mg/L)	1.51 - 1.81	1.66
TP (mg/L)	76.85-101.99	89.42
Total Coliform Bacteria (no./100 mL)	4.1×10^6 - 1.77×10^7	1.09×10^7



ภาพที่ 3.1 ภาพตัดตามขวางพื้นที่ชุ่มน้ำ



ภาพที่ 3.2 แบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

3.3 การเตรียมพืช

3.3.1 การคัดเลือกพืช

คัดเลือกพืชตามที่กำหนดไว้ 2 ชนิดจากพื้นที่ใกล้เคียง คือ

- กกกลม (Cyperus corymbosus Rottb.)
- ธูปฤาษี (Typha angustifolia Linn.)

3.3.2 การปลูกพืชในแปลงทดลอง

เมื่อทำการคัดเลือกพืชที่มีขนาดใกล้เคียงกันแล้ว ปลูกพืชเพียงหนึ่งชนิดในแต่ละบ่อ ดังนั้นจึงมีแบบจำลองปลูกกกกลม 4 บ่อ อีก 4 บ่อปลูกธูปฤาษี โดยมีระยะปลูกระหว่างต้นห่างกัน 0.15 m ความหนาแน่นเท่ากับ 42 ต้น/m^2 ดังภาพที่ 3.3 และ 3.4 เมื่อปลูกพืชเรียบร้อยแล้ว ปล่อยน้ำเข้าแบบจำลองขังทิ้งไว้ประมาณ 2 สัปดาห์ เพื่อให้พืชฟื้นตัว จากนั้นค่อย ๆ ปล่อยน้ำเสียฟาร์มสุกรจากบ่อเก็บกักน้ำ 2 เข้าแบบจำลองทีละน้อย ค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้น เพื่อให้พืชปรับสภาพได้จนกระทั่งพืชสามารถรับน้ำเสียจากบ่อเก็บกักน้ำ 2 ของฟาร์มสุกรได้ตามการวิจัย ซึ่งใช้เวลาในเริ่มต้น (Start-Up) ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ประมาณ 2-3 สัปดาห์

3.4 การศึกษาสารติดตาม (Tracer Study)

เมื่อพืชพักตัวแล้ว ทำการการวิเคราะห์สารติดตาม โดยใช้วิธี Slug-Feed Test ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จับเวลาตั้งแต่ปล่อยสารละลาย NaCl และหาความเข้มข้นของ Cl^- ในน้ำที่ออกจากแบบจำลอง นำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาค่าเวลากักเก็บน้ำที่แท้จริงและตัวประกอบการกระจายตามสมการ (2.7) และ สมการ (2.9)

3.5 การดำเนินการทดลอง

ปล่อยน้ำเสียฟาร์มสุกรเข้าสู่แบบจำลองทั้ง 8 บ่อ โดยให้ระดับน้ำเสียในแบบจำลองมีความสูง 0.25 m มีเวลากักเก็บน้ำเสียประมาณ 27 วัน และมีอัตราการไหลของน้ำเสียเฉลี่ยเท่ากับ 0.010 m^3/d โดยคำนวณจากสมการ (2.4)

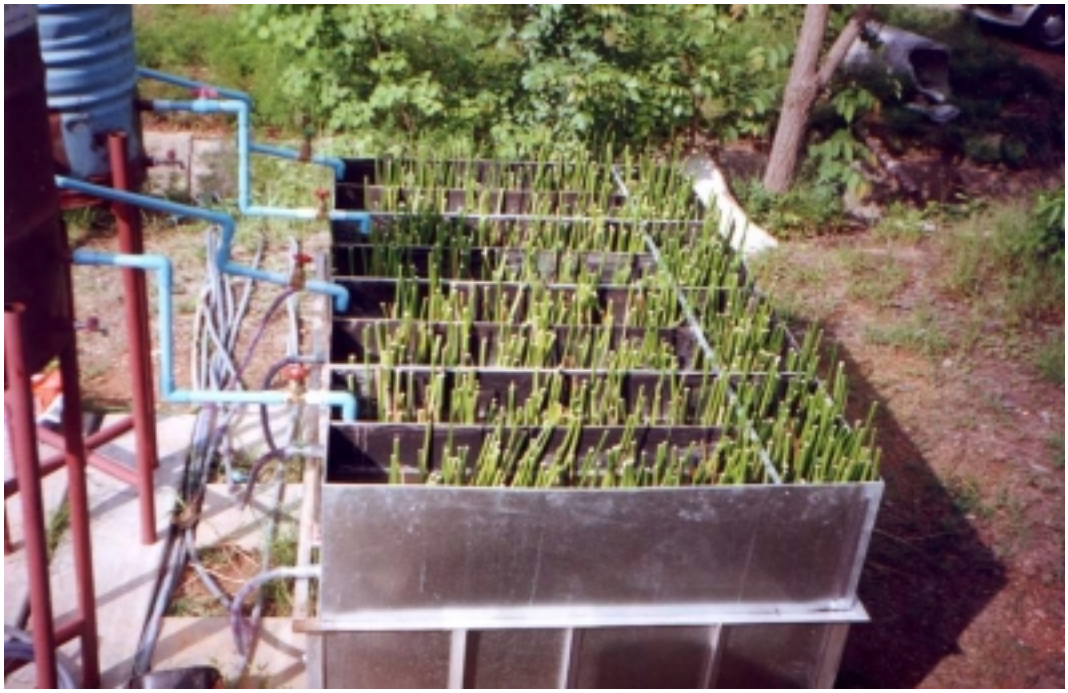
$$Q = \left[LW\left(d_n n + d_w \right) \right] / t$$

โดยที่

Q = อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำ (m^3/d)

L = ความยาวของบ่อ (m)

ภาพที่ 3.3 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีหลังตัดพืช



ภาพที่ 3.4 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมหลังตัดพืช

W = ความกว้างของบ่อ (m)

d_n = ความลึกของดิน, m

d_w = ความลึกของระดับน้ำจากผิวดิน, m

n = อัตราส่วนช่องว่างดิน (0.4 สำหรับแบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์นี้)

t = เวลากักเก็บน้ำ (วัน)

จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady-State) ซึ่งสังเกตจากผลการวิเคราะห์หา COD ของน้ำที่ออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์คงที่ประมาณ 2 สัปดาห์ และมีความสมบูรณ์ทางนิเวศน์ จึงทำการแปรเปลี่ยนอัตราการไหลเฉลี่ยดังนี้ 0.018, 0.040 และ 0.094 m^3/d ตารางที่ 3.3 รายละเอียดการทดลองในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดการทดลองในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

รายละเอียด	แบบจำลอง FWS			
เวลากักเก็บน้ำ (วัน)	27	15.5	7	3
ระดับความลึกของน้ำ (m)	0.25	0.25	0.25	0.25
อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง	10:1	10:1	10:1	10:1
อัตราการไหลเฉลี่ย (m^3/d)	0.010	0.018	0.040	0.094
อัตราภาระชลศาสตร์ (mm/d)	16	29	64	150
อัตราภาระอินทรีย์ (kg BOD/ha·d)	38	60	128	205

3.6 การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างน้ำที่เข้าและออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ตั้งแต่เริ่มการวิจัยและเก็บเกือบทุก ๆ วัน เพื่อวิเคราะห์ COD จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัว แล้วจึงเริ่มเข้าสู่โปรแกรมการทดลอง โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำอื่น ๆ เพื่อเก็บข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ต่อไป

3.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองประกอบด้วย

1. การวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การกำจัด BOD ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

นำข้อมูลจากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS โดยวิธีทดสอบความถดถอยเชิงเส้น (กัลยา, 2543) ซึ่งใช้ทดสอบอันดับการเกิดปฏิกิริยา

2. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการปรับปรุงคุณภาพน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

นำข้อมูลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างของน้ำที่เข้าและออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิธี Two-Way ANOVA โดยมีเวลากักเก็บน้ำและชนิดพืชเป็นตัวแปร

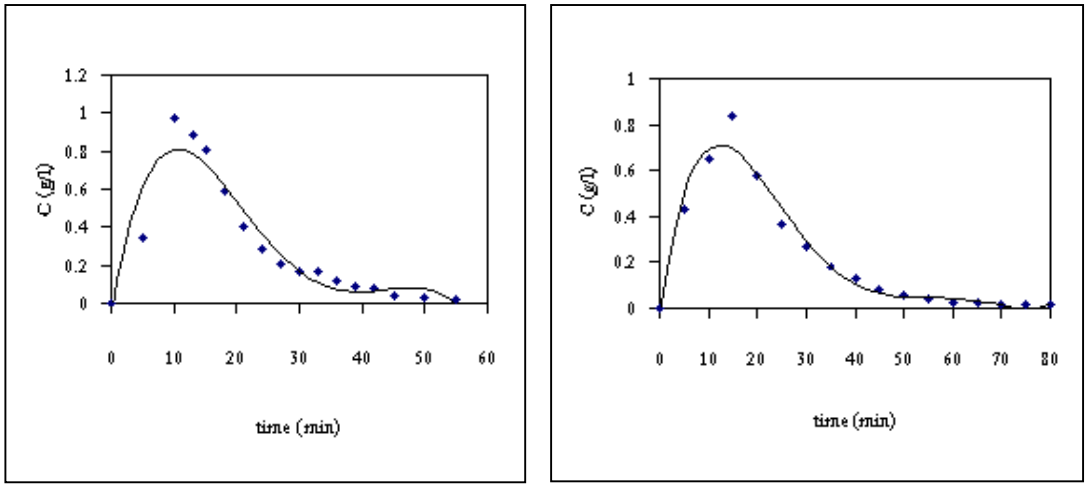
3. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กับมาตรฐานน้ำต่าง ๆ

นำข้อมูลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์เปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่มิใช่ทะเล และมาตรฐานน้ำดิบของการประปาส่วนภูมิภาค เพื่อพิจารณาว่าเหมาะสมที่จะนำกลับมาใช้ในฟาร์มสุกรได้อีกหรือไม่ และเปรียบเทียบกับร่างมาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร (มาตรฐานน้ำต่าง ๆ แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง)

บทที่ 4
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาสารติดตาม

การศึกษาสารติดตาม (Tracer Study) ใช้วิธีการแบบ Slug Feed โดยทำการใส่สารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 37.74 g/L อัตราการไหลเฉลี่ยของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมเท่ากับ 24.0 m^3/d และอัตราการไหลเฉลี่ยของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีเท่ากับ 14.6 m^3/d การศึกษาสารติดตามใช้การคำนวณโดยวิธี “Method of Moment” ดังสมการ (2.7) ถึง สมการ (2.9) โดยข้อมูลดิบและการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก ผลการศึกษาสารติดตามแสดงในภาพที่ 4.1 และตารางที่ 4.1



ก. พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลม ข. พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษี

ภาพที่ 4.1 ความเข้มข้นคลอไรด์กับเวลาในการศึกษาสารติดตามพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นคลอไรด์กับเวลา พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งปกติเบ้ขวา กล่าวคือ เมื่อเริ่มต้นการทดลองความเข้มข้นของคลอไรด์ที่ออกมาจะมีค่าน้อย เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นความเข้มข้นคลอไรด์ยังไหลไม่ถึงจุดออก และเมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นคลอไรด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงจุดจุดหนึ่งที่ความเข้มข้นคลอไรด์มีค่าสูงสุด จากนั้นความเข้มข้นคลอไรด์จะค่อย ๆ ลดลง

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาสารติดตาม

ชนิดพืช	T (hr)		ตัวประกอบการกระจาย (d)		
	$T_{ทางทฤษฎี}$	T_{mean}	ผลการศึกษา	Bhurtel (1997)	Koottatep(1999)
กกกลม	0.281	0.279	0.116	-	-
ธูปฤาษี	0.461	0.340	0.134	0.15-0.20	0.11-0.13

จากตารางที่ 4.1 พบว่าเวลากักเก็บน้ำที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการที่ 3.1 $T_{ทางทฤษฎี}$ มีค่ามากกว่า T_{mean} ที่ได้จากการศึกษาสารติดตามเล็กน้อย เนื่องจากการทดลองการศึกษาสารติดตามเกิดการไหลลัดวงจร เกิดการไหลของคลอไรด์เฉพาะส่วนที่เป็นน้ำเหนือผิวดิน การไหลของคลอไรด์ในชั้นดินมีน้อย สำหรับตัวประกอบการกระจายของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมคือ 0.134 และ 0.116 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าในตารางที่ 2.2 พบว่าตัวประกอบการกระจายมีลักษณะการไหลแบบกระจัดกระจายค่อนข้างมากทั้งนี้เนื่องจากเกิดการปั่นป่วน เมื่อน้ำไหลผ่านธูปฤาษีหรือกกกลม ค่าตัวประกอบการกระจายที่มีค่าน้อยจะบ่งบอกได้ว่ามีรูปแบบการไหลแบบท่อ (Plug-Flow Pattern)

4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การกำจัด BOD

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การกำจัด BOD ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ได้ทำการศึกษาอัตราอันดับการเกิดปฏิกิริยา โดยทำการทดสอบอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์, ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง และปฏิกิริยาอันดับสอง ด้วยสถิติสมการถดถอยเชิงเส้น โดยทดสอบสมการและสมมติฐานดังต่อไปนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X$$

โดย Y = ตัวแปรตาม (Dependent Variable) เนื่องจากค่าของ Y ขึ้นอยู่กับค่าของ X

X = ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

β_0 = ส่วนตัดแกน Y หรือ คือค่าของ Y เมื่อ X มีค่าเป็นศูนย์

β_1 = ความชัน (slope) ของเส้นตรง

สมมติฐานที่ทำการทดสอบมี 2 สมมติฐาน คือ

$H_0 : \beta_1 = 0$ หรือ H_0 : Y ไม่มีความสัมพันธ์กับ X ในรูปเชิงเส้น

$H_1 : \beta_1 \neq 0$ หรือ H_1 : Y มีความสัมพันธ์กับ X ในรูปเชิงเส้น

และ $H_0 : \beta_0 = 0$ เป็นการทดสอบเกี่ยวกับส่วนการตัดแกน Y

$H_1 : \beta_0 \neq 0$

ผลการทดสอบความถดถอยเชิงเส้นโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS แสดงในภาคผนวก ค.2 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดสอบความถดถอยเชิงเส้น

อันดับปฏิกิริยา	พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลม				พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษี			
	การทดสอบ β_0		การทดสอบ β_1		การทดสอบ β_0		การทดสอบ β_1	
	p-value	ค่าคงที่ β_0	p-value	ค่าคงที่ β_1	p-value	ค่าคงที่ β_0	p-value	ค่าคงที่ β_1
ปฏิกิริยาอันดับศูนย์	0.047	58.313	0.077	2.747	0.063	46.131	0.510	3.224
ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง	0.002	-0.771	0.036	-1.076×10^{-2}	0.009	-0.570	0.036	-1.721×10^{-2}
ปฏิกิริยาอันดับสอง	0.020	9.879×10^{-3}	0.915	-1.043×10^{-5}	0.036	6.63×10^{-3}	0.403	8.5×10^{-5}

จากตารางที่ 4.2 พบว่าการกำจัด BOD ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีอัตราการเกิดอันดับปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง เนื่องจากมีค่า p-value ไม่เกิน 0.05 ซึ่งจะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ปฏิกิริยาอันดับศูนย์และปฏิกิริยาอันดับสองมีค่า p-value มากกว่า 0.05 ซึ่งยอมรับสมมติฐาน H_0 คือ Y และ X ไม่มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้น และเมื่อพิจารณา p-value ของการทดสอบ β_0 (ส่วนการตัดแกน Y) พบว่า p-value น้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่า สมการเชิงเส้นมีส่วนตัดแกน Y (ไม่ใช่ที่จุด Y=0) ซึ่งสามารถสรุปสมการดังต่อไปนี้

สมการการกำจัด BOD ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลม คือ

$$\ln\left(\frac{C_e}{C_0}\right) = -0.771 - 0.01076\ t \qquad (4.1)$$

สมการการกำจัด BOD ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษี คือ

$$\ln\left(\frac{C_e}{C_0}\right) = -0.570 - 0.01721\ t \qquad (4.2)$$

จากผลการศึกษาสารติดตามและอันดับปฏิกิริยาสามารถสรุปได้ว่าสมการการกำจัด BOD ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีรูปแบบการไหลแบบท่อและมีอันดับปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ซึ่งในงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ถังปฏิกิริยาที่มีรูปแบบการไหลแบบท่อ มีสมมติฐานเบื้องต้นคือ ความเร็วและความเข้มข้นจะสม่ำเสมอในทิศทางของรัศมีที่จุดใด ๆ ตามความยาวของถัง และไม่มีการผสมของสารทำปฏิกิริยาหรือผลิตภัณฑ์ โดยการฟุ้งกระจายในทิศทางตามยาวหรือตามแนวแกนตลอดความยาวของถัง จากสมมติฐานปฏิกิริยาเกิดขึ้นตามความยาวของถัง ความเข้มข้นของสารจะแปรตามระยะทางตามแนวแกน X เท่านั้น (ธีระ เกรอต, 2539) ซึ่งจะได้สมดุลมวลที่เกิดขึ้นดังนี้

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -v_x \frac{\partial C}{\partial x} + r(C)$$

ในสภาวะคงที่ $\frac{\partial C}{\partial t} = 0$

$$0 = -v_x \frac{dC}{dx} + r(C)$$

$$\int_0^L \frac{dx}{v_x} = \int_{C_0}^{C_e} \frac{dC}{r(C)}$$

$$\frac{L}{v_x} \times \frac{A}{A} = \frac{V}{Q} = t = \int_{C_0}^{C_e} \frac{dC}{r(C)}$$

$$\int_{C_0}^{C_e} \frac{dC}{dt} = r(C)$$

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

$$C \longrightarrow P$$

$$r = \frac{dC}{dt} = -kC$$

$$\int_{C_0}^{C} \frac{dC}{C} = \int_0^t -k\,dt$$

$$\ln (C/C_0) = -kt$$

สมการการกำจัด BOD ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีรูปแบบการไหลแบบท่อและมีอันดับปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ดังนั้นจึงได้นำมาเปรียบเทียบกับสมการ U.S.EPA. และสมการของ Reed ซึ่งมีรูปแบบการไหลแบบท่อและมีอันดับปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเช่นเดียวกับสมการที่ได้จากการทดลอง พบว่าสมการที่ได้จากการทดลองมีค่าคงที่เกิดขึ้น ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้โดยสมการ U.S. EPA (1988) ดังนั้นจึงนำสมการ (2.3) ซึ่งนำเสนอโดย Reed et al. (1988) มาอธิบายสมการที่ได้จากการทดลอง

$$\frac{C_e}{C_0} = F \exp\left[-0.7 K_T \left(A_v\right)^{1.75} t\right]$$

เมื่อทำให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์ของ $\ln\left(\frac{C_e}{C_0}\right)$ กับ t จะอยู่ในรูปดังสมการ (4.3)

$$\ln\frac{C_e}{C_0} = \ln F - 0.7 K_T \left(A_v\right)^{1.75} t \qquad (4.3)$$

สมการข้างต้นเป็นสมการซึ่ง Reed et al. ได้พัฒนามาจากสมการของระบบโปรยกรองและการไหลแบบกระจายบนดินของระบบน้ำไหลนอง และได้ทำการวิจัยเปรียบเทียบสมการกับผลการวิจัยการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ Listowel ใน Ontario และ Arcata ใน California พบว่าสามารถใช้สมการดังกล่าวได้ โดย K_T จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและ A_V ยกกำลัง 1.75 เนื่องจากได้พัฒนามาจากระบบโปรยกรอง ซึ่งขึ้นกับลักษณะตัวกลาง ตัวกลางที่มีความหลากหลาย จะมีค่ายกกำลัง 1.75 นอกจากนี้ Reed et al. ยังได้ประมาณค่าคงที่ A_V = 15.7 m^2/m^3 โดย A_V หาได้จากพื้นผิวของพืชที่จมน้ำและชั้นตะกอนที่สัมผัสน้ำเสีย ซึ่งเป็นการยากในการวัด พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ที่ Listowel ได้ประมาณปริมาตรของพืชและชั้นตะกอนประมาณ 5% ของพื้นที่ชุ่มน้ำ และสมมติก้านพืชมีลักษณะทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.27 cm (0.5”)

สามารถคำนวณหา A_V โดย

พื้นที่ผิวของก้านพืช =3.14DL

ปริมาตรของก้านพืช = $3.14D^2L/4$

ใน พื้นที่ชุ่มน้ำ 1 m^3 มีพืช 1*0.05 = 0.05 m^3

พื้นที่ผิวจำเพาะ = พื้นที่ผิว/ปริมาตร

= [4/0.127]*0.05 =15.7 m^2/m^3

นำค่า A_V = 15.7 m^2/m^3 ไปแทนในสมการ (4.3) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับ สมการ (4.1) และสมการ (4.2) จะได้ค่า F และ K_T ดังตารางที่ 4.3 สำหรับ K_{20} สามารถหาได้จากสมการ (4.4) ซึ่งแทนค่า θ เท่ากับ 1.1 จาก Tchobonoglus and Culp (1980) ได้แนะนำให้ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเท่ากับ 1.1 สำหรับระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้ได้ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำและวัดอุณหภูมิทันที โดยคาดว่าจะมีอุณหภูมิน้ำที่ออกเท่ากับอุณหภูมิน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำ และจากการวัดอุณหภูมิได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.6 °C (รายละเอียดแสดงในตาราง 10ข)

$$K_T = K_{20}\,\theta^{T-20} \qquad (4.4)$$

$$0.0002 = K_{20} \times [1.1]^{30.6-20}$$

$$K_{20} = 0.000073$$

ตารางที่ 4.3 สรุปค่า F และ K_T ที่ได้จากการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้จากการทดลอง		Reed et al. (1988)
	พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลม	พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษี	พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์
F	0.463	0.566	0.52
K_T	0.00012	0.00020	-
K_{20}	0.000045	0.000073	0.0057

จากตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาค่า F จากการทดลองและค่า F ของ Reed et al. (1988) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่า K_{20} จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าค่า K_{20} ของ Reed et al. (1988) เนื่องจากค่า K ขึ้นอยู่กับปริมาณและธรรมชาติของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ และชนิดของจุลินทรีย์ในน้ำเสีย (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2538) การทดลองนี้ใช้น้ำเสียฟาร์มสุกรซึ่งแตกต่างกับการวิจัยของ Reed ที่ใช้น้ำเสียชุมชน

การใช้ค่าคงที่ที่หาได้จากการทดลอง คือ F และ K_{20} มีข้อจำกัด คือ การพยากรณ์ค่า Y โดยกำหนดค่า X นั้น (ในที่นี้ ค่า Y คือ $\ln(C_e/C_0)$ และค่า X คือ เวลากักเก็บน้ำ) ค่า X ที่กำหนดต้องมีค่าในช่วงของค่าตัวอย่าง X ถ้าค่า X ที่กำหนดให้เพื่อพยากรณ์ค่า Y อยู่นอกช่วงของค่าตัวอย่าง X ความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y อาจจะไม่ได้มีความสัมพันธ์ในรูปแบบเดียวกันกับกรณีที่ X อยู่ในช่วงของข้อมูลตัวอย่าง (กัลยา วาณิชย์บัญชา, 2539) ดังนั้นช่วงค่า X หรือเวลากักเก็บน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีที่สามารถใช้ค่าคงที่ดังกล่าวได้ เมื่อเวลากักเก็บน้ำอยู่ในช่วงประมาณ 4-27 วัน

4.3 ประสิทธิภาพการกำจัด

การทดลองครั้งนี้ได้กำหนดให้เวลากักเก็บน้ำอยู่ในช่วง 4 ถึง 27 วัน โดยมีอัตราภาระอินทรีย์ อยู่ในช่วง 35-210 kg BOD/ha·d ลักษณะสมบัติน้ำเสียฟาร์มสุกรที่เข้าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีค่าดังตารางที่ 3.2 เนื่องจากการทดลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ได้เริ่มการทดลองตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2543 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2544 ดังนั้นลักษณะสมบัติน้ำเสียฟาร์มสุกรที่เข้าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในเดือนสิงหาคม 2543 ถึงเดือนมกราคม 2544 จะมีลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ค่อนข้างดี ทั้งนี้จากการเก็บกวาดมูลสุกรออกจากโรงเรือนก่อนที่จะทำการล้างด้วยน้ำสามารถลดความสกปรกลงได้มากกว่าครึ่งหนึ่งของความสกปรกที่เกิดขึ้นทั้งหมด (ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2537) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดต่าง ๆ จึงคิดเปรียบเทียบเป็นร้อยละการกำจัด และเพื่อหลีกเลี่ยงผลที่เกิดจากการระเหยคายน้ำ (Evapotranspiration) จึงเปรียบเทียบเป็นร้อยละการกำจัดโดยมวล (g/d) เช่นเดียวกับการเปรียบเทียบของ Polprasert, Khatiiwada, and Bhurtel (1998a; 1998b) และ Koottatep (1999) ร้อยละการกำจัดโดยมวลสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิธี Two-Way ANOVA (ภาคผนวก ค.1)

4.3.1 ประสิทธิภาพการกำจัดกับเวลากักเก็บน้ำและชนิดพืช

- **ประสิทธิภาพการกำจัด COD และ BOD**

ประสิทธิภาพการกำจัด COD และ BOD ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมอยู่ในช่วง 63.5-88.1% และ 66.3-87.0% ตามลำดับ ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัด COD และ BOD ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีอยู่ในช่วง 68.3-92.2% และ 67.1-91.6% ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.2 และ 4.3 จากการทดลองพบว่า พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพการกำจัด COD และ BOD ที่ดีที่สุด คือ พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีที่เวลากักเก็บน้ำนานที่สุดซึ่งเท่ากับ 26.9 วัน โดยมีร้อยละการกำจัดเท่ากับ 92 และ 91.7 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.1) พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการกำจัด COD คือ ชนิดพืชและเวลากักเก็บน้ำ โดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีมีแนวโน้มในการกำจัด COD ได้ดีกว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลม และเมื่อเวลากักเก็บน้ำนานประสิทธิภาพการกำจัด COD จะสูง สำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการกำจัด BOD คือ เวลากักเก็บน้ำ ประสิทธิภาพการกำจัดจะสูงเมื่อมีเวลากักเก็บน้ำนาน เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์มาก กลไกการกำจัด COD และ BOD คือ ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์และการตกตะกอนของของแข็ง

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยหลายทาง (Two-Way ANOVA) ของลักษณะสมบัติน้ำเสีย โดยมีเวลากักเก็บน้ำและชนิดพืชเป็นตัวแปร

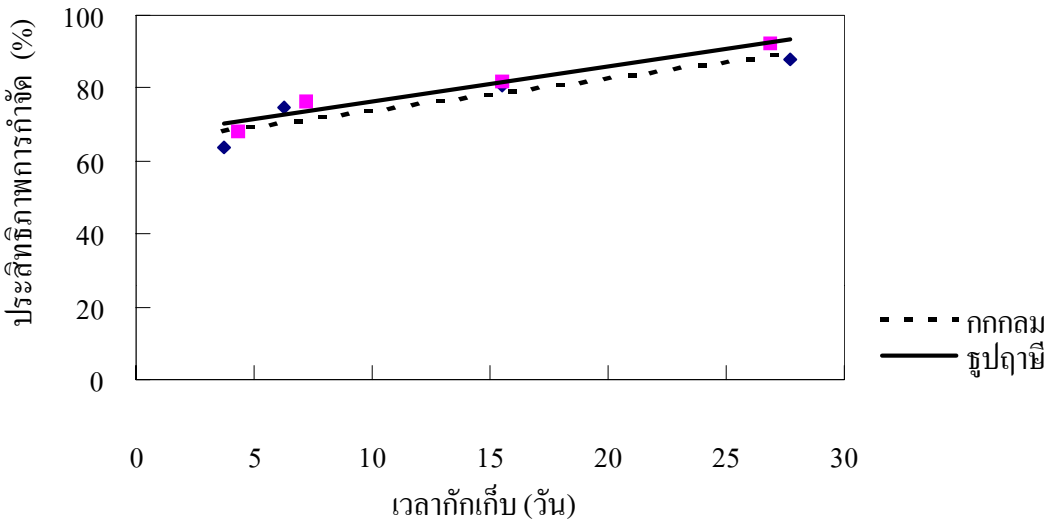
ชนิดพืช	เวลากักเก็บน้ำ (วัน)	อัตราภาระอินทรีย์ (kg BOD/ha·d)	% การกำจัด						
			มวล (g/d)						ความเข้มข้น (no./100 mL)
			COD^{AB}	BOD^{B}	TSS^{AB}	TKN^{B}	$NO_3\text{-}N^{AB}$	TP^{BC}	Total Coliform Bacteria^{B}
กกกลม	27.7	35.2	88.1	87.0	95.5	94.4	74.7	76.0	80.8
	15.5	58.1	80.6	80.7	85.8	86.8	65.2	67.5	76.0
	6.3	131.6	74.9	75.0	80.5	76.6	54.4	53.7	67.0
	3.7	209.4	63.5	66.3	69.7	71.7	42.6	39.3	59.0
ธูปฤาษี	26.9	40.5	92.2	91.6	97.4	95.7	83.1	81.1	85.1
	15.5	60.0	81.6	80.6	88.9	89.4	65.3	63.1	80.8
	7.2	124.2	76.3	76.7	84.4	83.4	60.0	55.8	55.6
	4.3	195.6	68.3	67.1	77.0	75.0	50.5	45.9	52.3

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบน แสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

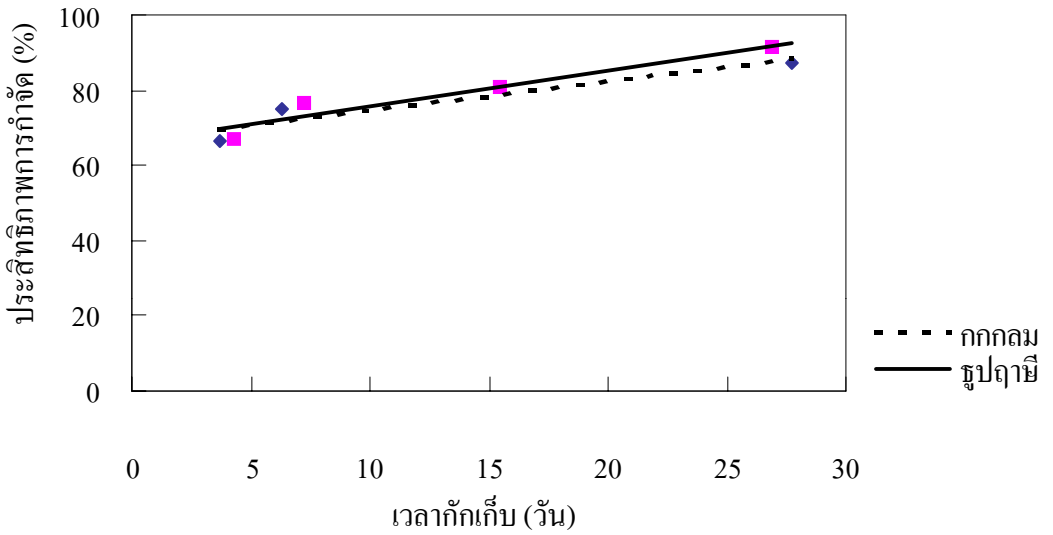
A คือ ชนิดพืชมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการกำจัด

B คือ เวลากักเก็บน้ำมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการกำจัด

C คือ ทั้งชนิดและเวลากักเก็บน้ำมีอิทธิพลร่วมกันต่อประสิทธิภาพการกำจัด



ภาพที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัด COD กับเวลากักเก็บน้ำ



ภาพที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัด BODกับเวลากักเก็บน้ำ

สำหรับการพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ได้ใช้ประสิทธิภาพการกำจัด BOD ในการพิจารณา เนื่องจาก BOD เป็นค่าที่ใช้บอกถึงผลกระทบของน้ำเสียที่มีต่อปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 2538) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ไม่แตกต่างกัน (ชนิดพืชไม่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการกำจัด BOD)

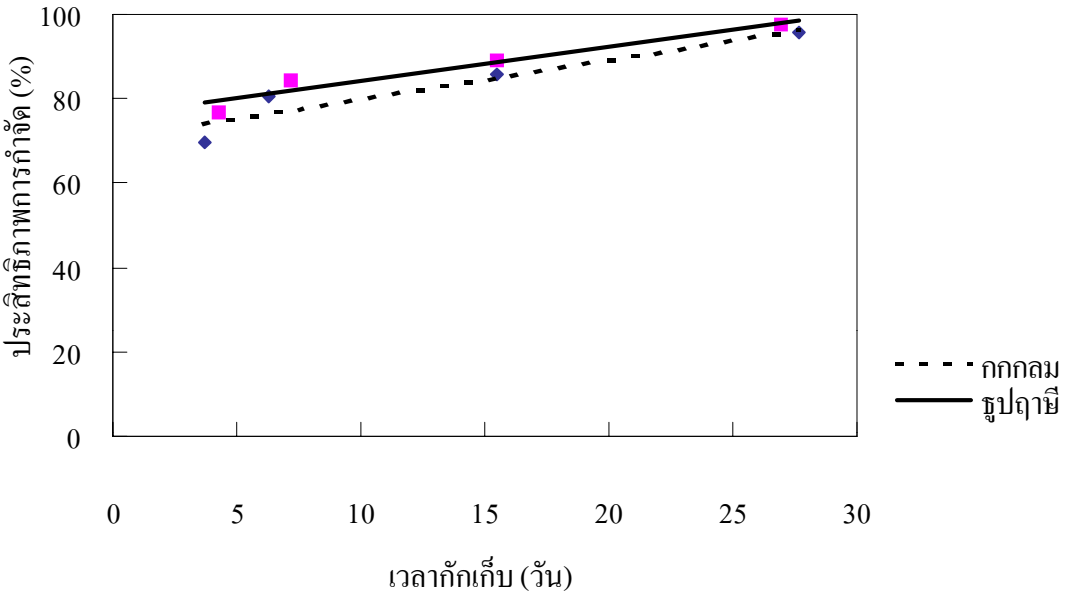
- **ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็ง**

ประสิทธิภาพการกำจัด TSS ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษี มีค่าอยู่ในช่วง 69.7-95.5% และ 77.0-97.4% ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัด TSS มีแนวโน้มเช่นเดียวกับประสิทธิภาพการกำจัด COD และ BOD คือ พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีที่เวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 26.9 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีที่สุด ซึ่งมีร้อยละการกำจัดเท่ากับ 97 แต่ประสิทธิภาพการกำจัด TDS ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีประสิทธิภาพการกำจัดต่ำ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัด TDS ที่เวลากักเก็บน้ำน้อย ๆ พบว่า TDS ที่ออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีค่าสูงกว่า TDS ที่เข้าสู่ระบบ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข) เนื่องจากอาจมีการละลายกลับคืน TDS

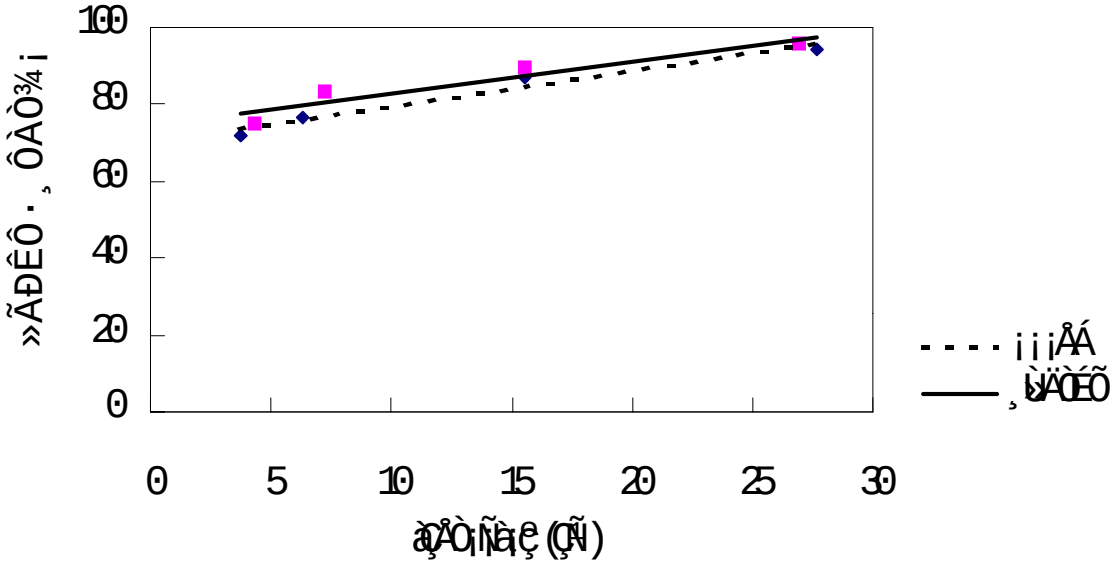
การวิเคราะห์ทางสถิติสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลกับประสิทธิภาพการกำจัดของ TSS คือ ชนิดพืชและเวลากักเก็บน้ำ ประสิทธิภาพการกำจัดพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยดีกว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมที่เวลากักเก็บน้ำเท่ากัน เนื่องจากต้นธูปฤาษีมีขนาดลำต้นใหญ่ หนา และรากมีแขนง ซึ่งเหมาะกับการกรองมากกว่ากกกลม และเมื่อเวลากักเก็บน้ำนานจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยดีกว่าเมื่อเวลากักเก็บน้ำน้อย โดยกลไกการกำจัดของแข็งแขวนลอย คือ การตกตะกอนและการกรอง

- **ประสิทธิภาพการกำจัด TKN และ NO_3-N**

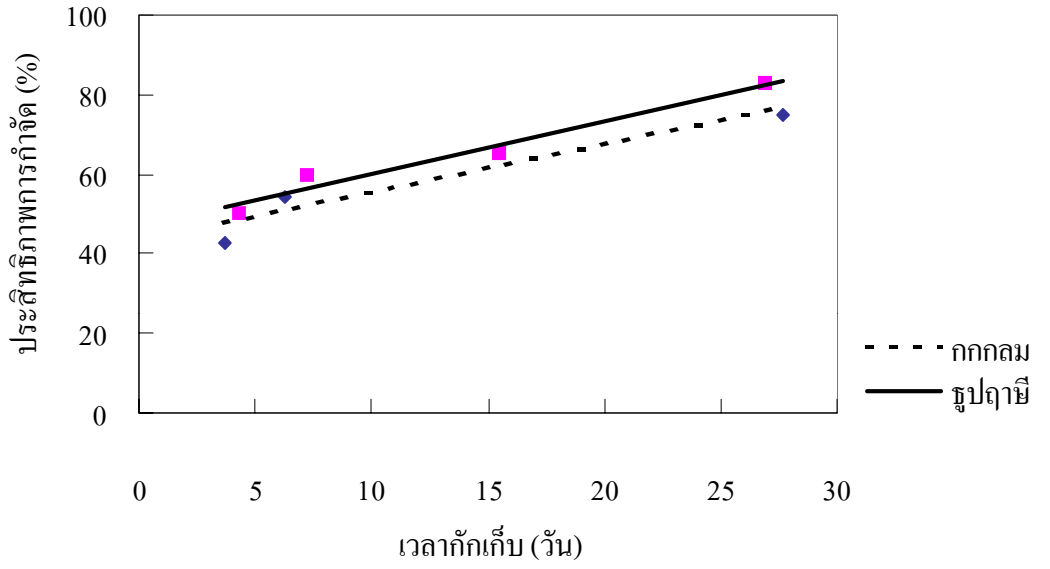
ประสิทธิภาพการกำจัด TKN และ NO_3-N ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมเท่ากับ 71.7-94.4%, 42.6-74.7% ตามลำดับ โดยมีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพการกำจัด TKN และ NO_3-N ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีซึ่งมีค่าเท่ากับ 75.0-95.7% และ 50.5-83.1% ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.5 และ 4.6 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการกำจัด TKN คือ เวลากักเก็บน้ำ เมื่อเวลากักเก็บน้ำนานทำให้มีเวลาเพียงพอในการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ทำให้มีประสิทธิภาพการกำจัดสูง สำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการกำจัด NO_3-N คือ ชนิดพืชและเวลากักเก็บน้ำ เมื่อเวลากักเก็บน้ำนานประสิทธิภาพการกำจัดจะสูง ส่วนชนิดพืชเป็นปัจจัยที่มี



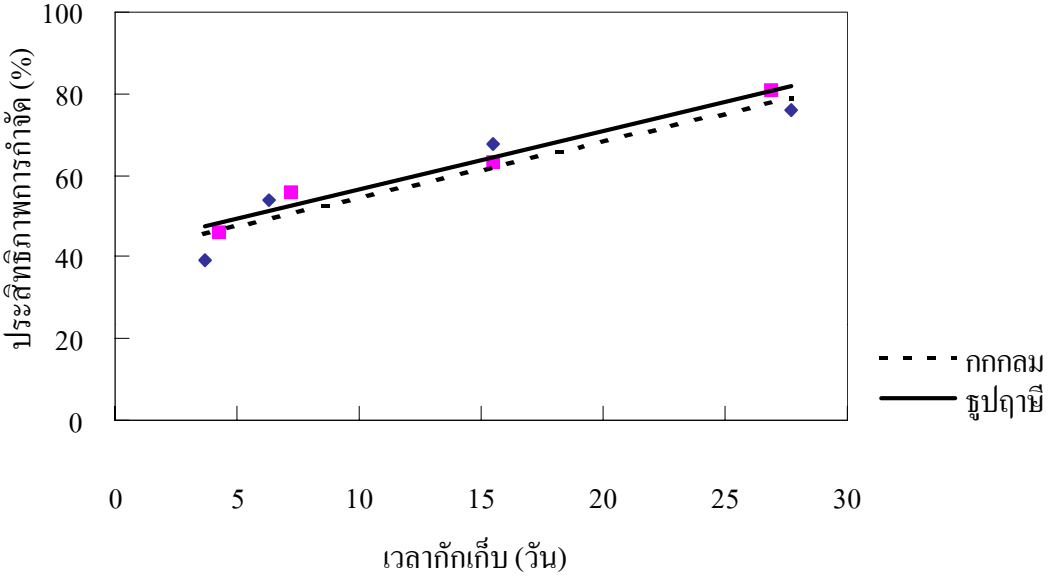
ภาพที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัด TSS กับเวลากักเก็บน้ำ



ภาพที่ 4.5 ประสิทธิภาพการกำจัด TKN กับเวลากักเก็บน้ำ



ภาพที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัด NO_3-N กับเวลากักเก็บน้ำ



ภาพที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัด TP กับเวลากักเก็บน้ำ

ต่อประสิทธิภาพการกำจัด เนื่องจากพืชสามารถดูดซึม NO_3-N ไปใช้ประโยชน์ได้ ชนิดพืชที่มีประสิทธิภาพการกำจัดดีคือ ธูปฤาษี กลไกการกำจัดไนโตรเจนคือ ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น/ดีไนตริฟิเคชั่น, การระเหยของแอมโมเนีย และการดูดซึมของพืช

- **ประสิทธิภาพการกำจัด TP**

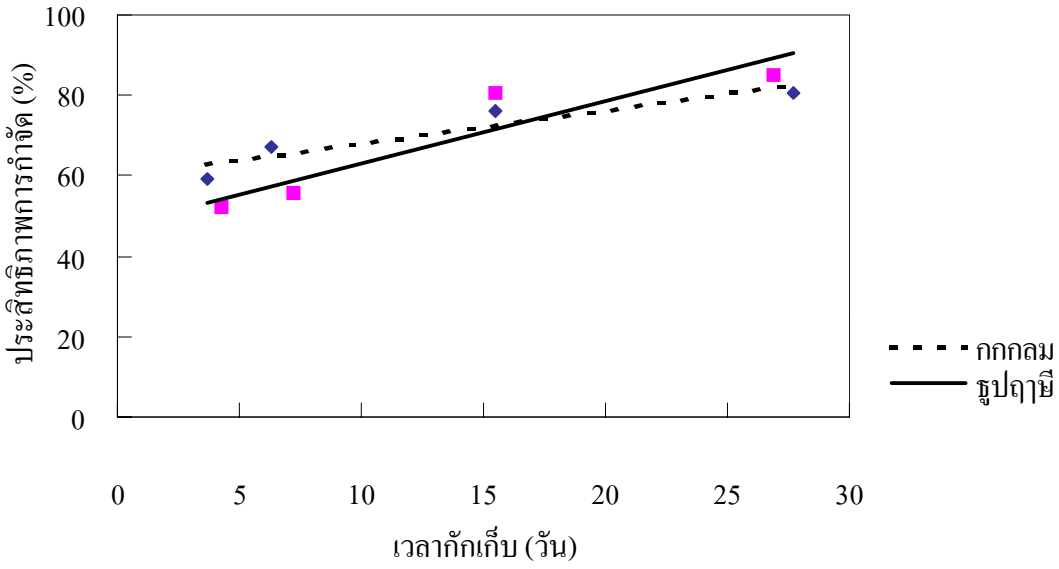
ประสิทธิภาพการกำจัด TP ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีเท่ากับ 39.3-76.0% และ 45.9-81.1% ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.8 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการกำจัด TP คือ เวลากักเก็บน้ำ และอิทธิพลร่วมกันของเวลากักเก็บน้ำกับชนิดพืช เมื่อเวลากักเก็บน้ำนานประสิทธิภาพการกำจัดจะสูง สำหรับอิทธิพลร่วมกันของเวลากักเก็บน้ำกับชนิดพืช เนื่องจากการดูดซึมของพืชมีน้อยจึงมีอิทธิพลกับประสิทธิภาพการกำจัดไม่มาก ดังนั้นจึงเป็นเพียงอิทธิพลร่วมกันกับเวลากักเก็บน้ำ โดยเวลากักเก็บน้ำจะมีอิทธิพลมากกว่าชนิดพืช และเมื่อเวลากักเก็บน้ำเท่ากันพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมจะมีประสิทธิภาพการกำจัดดีกว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษี กกกลมมีการแพร่เพิ่มปริมาณ และออกดอกได้เร็วกว่าธูปฤาษี ซึ่งจำเป็นต้องใช้ฟอสฟอรัสในปริมาณที่มากกว่า กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสคือ การดูดซึมในชั้นดิน, การตกตะกอนทางเคมี, การตกตะกอน และการดูดซึมของพืช

- **ประสิทธิภาพการกำจัด Total Coliform Bacteria**

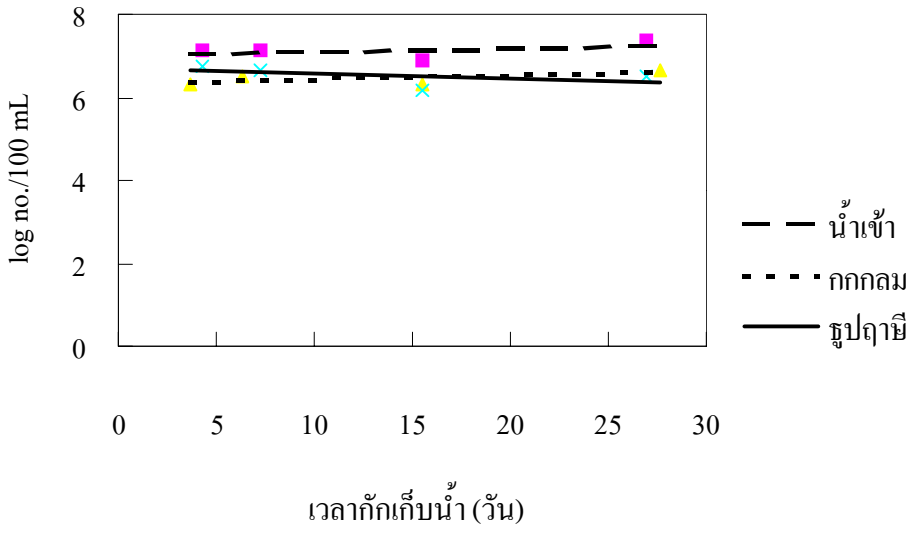
ประสิทธิภาพการกำจัด Total Coliform Bacteria ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษี เท่ากับ 59.0-80.8% และ 52.3-85.1% ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.9 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกำจัด Total Coliform Bacteria คือ เวลากักเก็บน้ำ เมื่อเวลากักเก็บน้ำนานกลไกการกำจัด เช่น การย่อยสลาย, การตายตามธรรมชาติเมื่อมีสิ่งแวดล้อมไม่อำนวย และการตกตะกอนจะเกิดขึ้นได้ดี ประสิทธิภาพการกำจัดจึงสูง

4.3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดต่าง ๆ กับอัตราภาระอินทรีย์

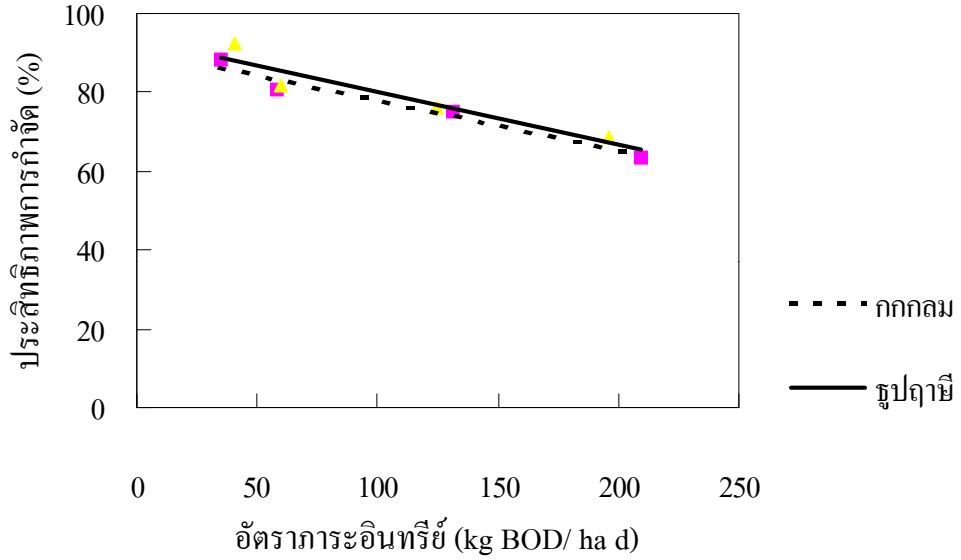
ประสิทธิภาพการกำจัดต่าง ๆ กับอัตราภาระอินทรีย์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.10 ถึง 4.17 ซึ่งจากกราฟจะพบว่า กราฟของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีมีลักษณะเหมือนกัน คือ ประสิทธิภาพการกำจัดต่าง ๆ จะสูงเมื่ออัตราภาระอินทรีย์น้อย แสดงว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์เหมาะกับการบำบัดน้ำเสียที่มีภาระอินทรีย์น้อย ๆ ซึ่งReed et al. (1988) และ U.S.EPA. (1988) ได้แนะนำให้ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำกับอัตราภาระอินทรีย์ที่ไม่สูงมาก เพราะจะทำให้ระบบล้มเหลวเกิดสภาพแอนแอโรบิก และอาจทำให้พืชน้ำตายได้



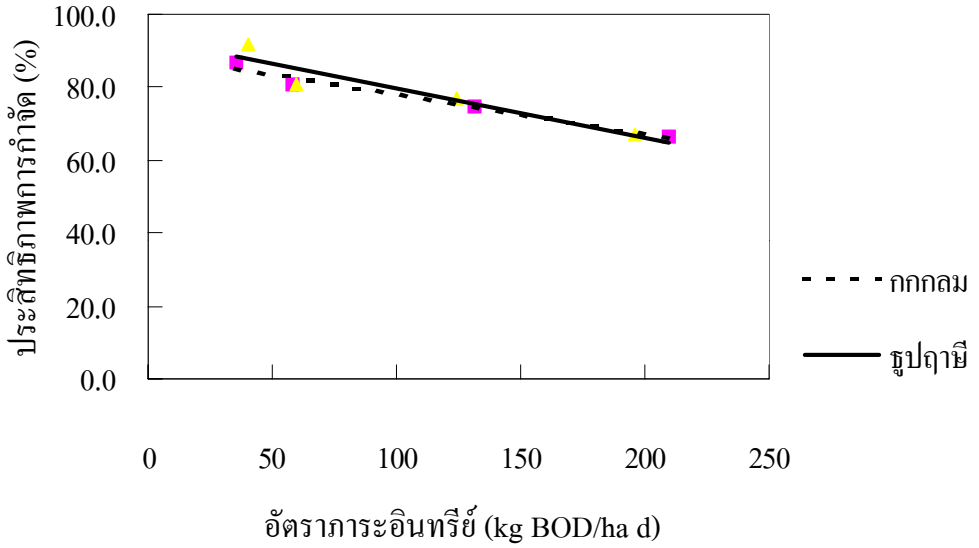
ภาพที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัด Total Coliform Bacteria กับเวลากักเก็บน้ำ



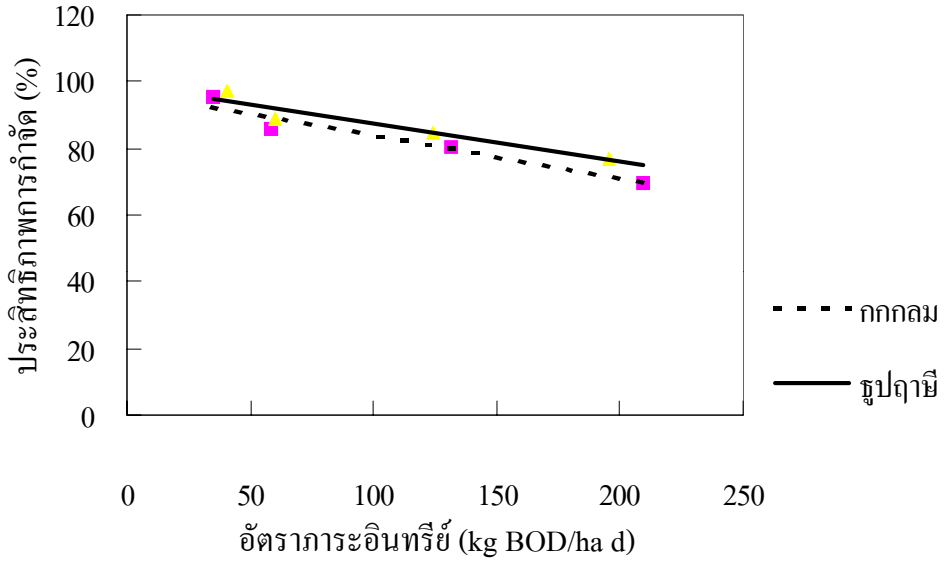
ภาพที่ 4.9 log Total Coliform Bacteria กับเวลากักเก็บน้ำ



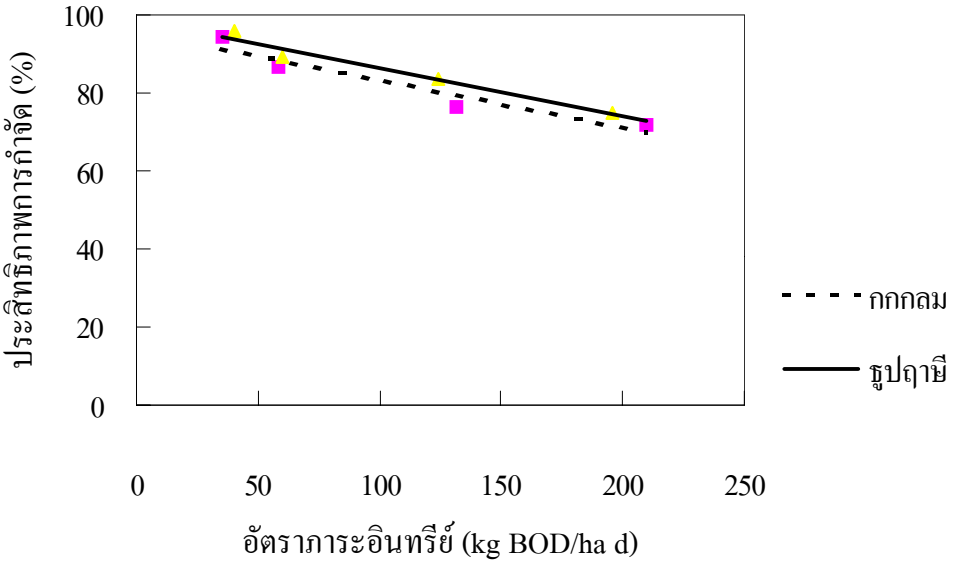
ภาพที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัด COD กับอัตราภาระอินทรีย์



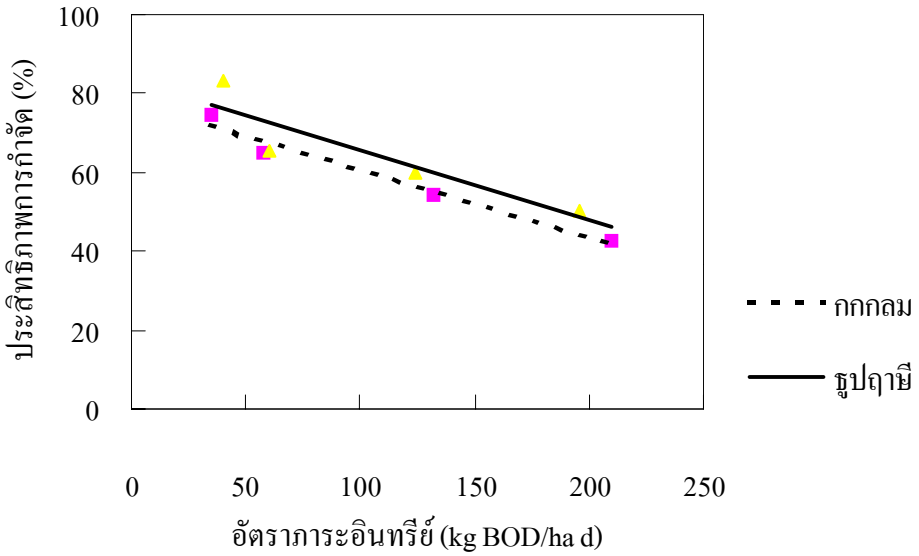
ภาพที่ 4.11 ประสิทธิภาพการกำจัด BOD กับอัตราภาระอินทรีย์



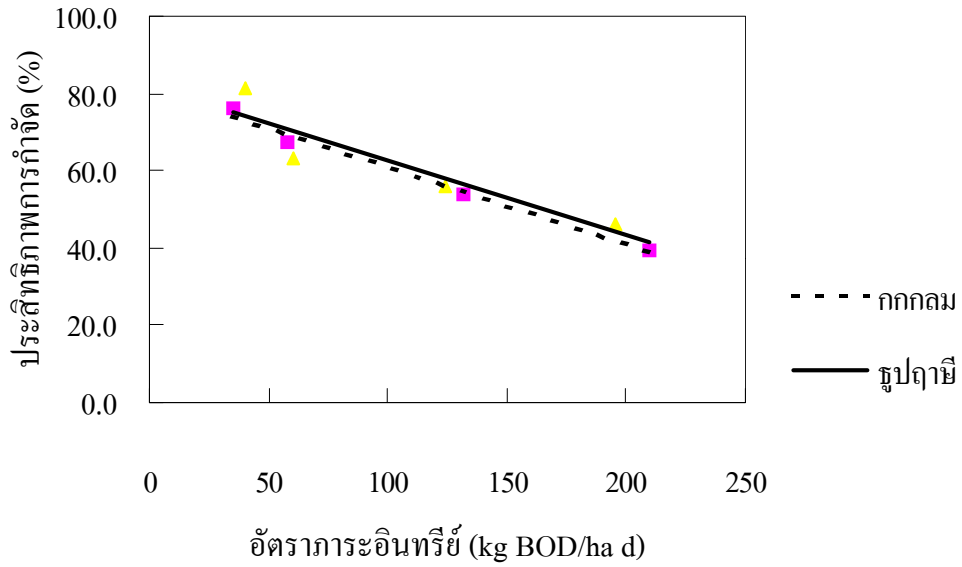
ภาพที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัด TSS กับอัตราภาระอินทรีย์



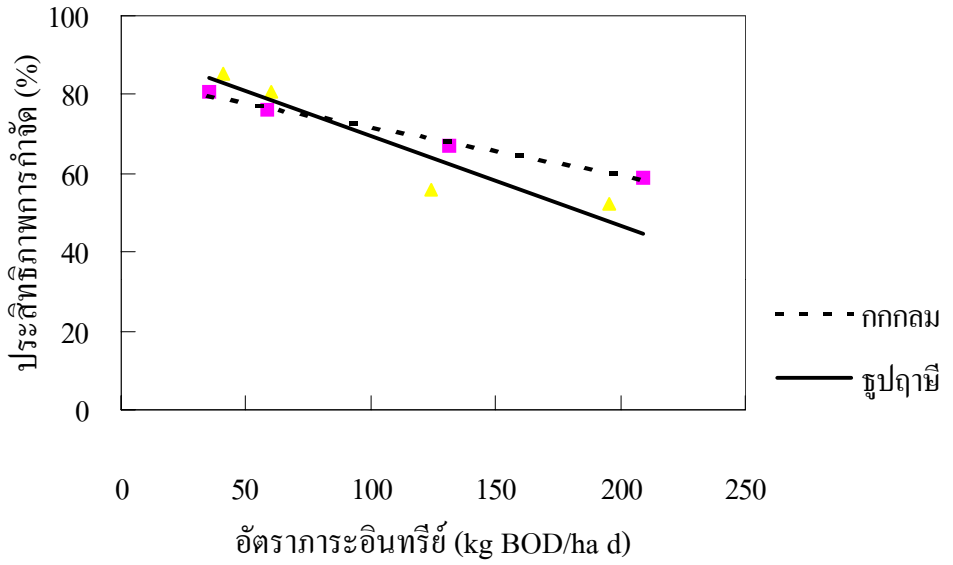
ภาพที่ 4.13 ประสิทธิภาพการกำจัด TKN กับอัตราภาระอินทรีย์



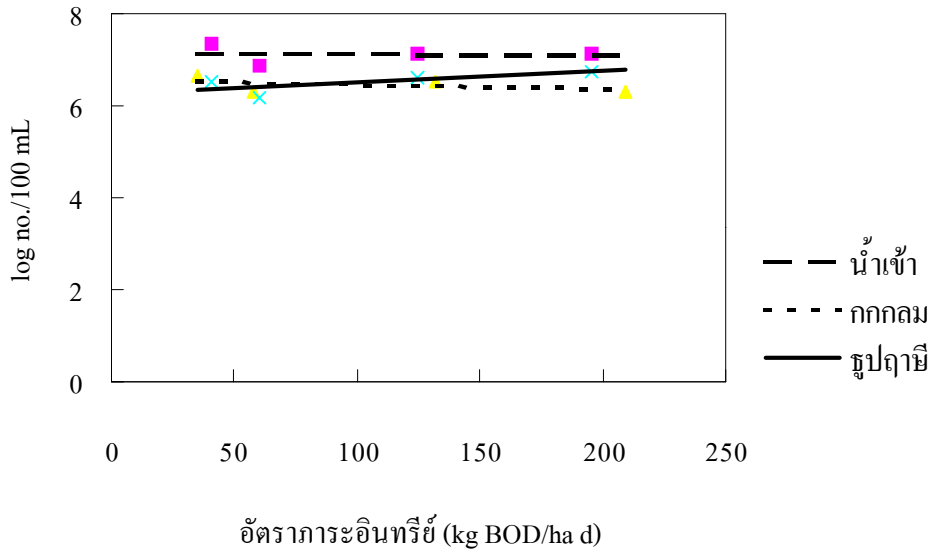
ภาพที่ 4.14 ประสิทธิภาพการกำจัด NO_3-N กับอัตราภาระอินทรีย์



ภาพที่ 4.15 ประสิทธิภาพการกำจัด TP กับอัตราภาระอินทรีย์



ภาพที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัด Total Coliform Bacteria กับอัตราภาระอินทรีย์



ภาพที่ 4.17 log Total Coliform Bacteria กับอัตราภาระอินทรีย์

4.4 อัตราผลผลิตพืช

อัตราผลผลิตของกกกลมและธูปฤาษีเท่ากับ 15-26 $g/m^2/d$ และ 10-21 $g/m^2/d$ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) จะเห็นได้ว่า อัตราผลผลิตของกกกลมสูงกว่าอัตราผลผลิตของธูปฤาษี เนื่องจากกกกลมสามารถแผ่ขยาย แตกหน่อเป็นต้นใหม่ได้เร็วกว่าธูปฤาษี ผลผลิตพืชที่ได้ มีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.120-0.208 $g/m^2 \cdot d$ สำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและ 0.050-0.105 $g/m^2 \cdot d$ สำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษี และมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.070-0.026 $g/m^2 \cdot d$ สำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและ 0.005-0.011 $g/m^2 \cdot d$ สำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษี การตัดผลผลิตพืชไปใช้ประโยชน์เป็นการนำไนโตรเจนและฟอสฟอรัสออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ โดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีสามารถกำจัดไนโตรเจนได้ 3.70-11.5 % และ 1.7-7.7 % ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ TN ในน้ำเข้า และสามารถกำจัดฟอสฟอรัสจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีได้ 0.19-1.15 % และ 0.06-0.17 % ตามลำดับ ซึ่งร้อยละการกำจัดค่อนข้างสูง แสดงว่าการดูดซึมของพืชเป็นกลไกสำคัญในการกำจัดไนโตรเจน เมื่อเทียบกับ TP ในน้ำเข้า ซึ่งร้อยละการกำจัดค่อนข้างต่ำ แสดงว่าการดูดซึมของพืชไม่ใช่กลไกหลักในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส แต่เป็นกลไกที่สำคัญในการกำจัดฟอสฟอรัสออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์พืชและดิน

ชนิดพืช	เวลากักเก็บน้ำ(วัน)	อัตราผลผลิตพืช($g/m^2/d$)	สารอินทรีย์ในดิน(g/g dry wt)
กกกลม	27.7	17	0.0015
	15.5	15	0.0028
	6.3	20	0.0038
	3.7	26	0.0039
ธูปฤาษี	26.9	21	-
	15.5	13	-
	7.2	10	0.0049
	4.3	17	0.0050

หมายเหตุ - อัตราผลผลิตพืช คำนวณจากปริมาณผลผลิตพืชเหนือผิวน้ำ 10 cm

4.5 สารอินทรีย์ที่สะสมในดิน

สารอินทรีย์ที่สะสมในดินของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีเท่ากับ 0.0015-0.0039 g/g dry wt และ 0.0049-0.005 g/g dry wt ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งมีค่าน้อยมาก เมื่อเวลากักเก็บน้ำนานสารอินทรีย์ในดินจะสะสมมากขึ้น การสะสมสารอินทรีย์ในดินทำให้ช่องว่างในดินน้อยลงและเกิดการตื้นเขิน แสดงว่าเมื่อใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ไปนาน ๆ จำเป็นต้องมีการขุดลอก การสะสมสารอินทรีย์ในดินเกิดจากการตกตะกอน, การกรอง, การสะสมซากพืชและแบคทีเรีย

4.6 การนำน้ำกลับมาใช้

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบลักษณะสมบัติน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กับมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่มิใช่ทะเลประเภทที่ 3 (แหล่งน้ำที่สามารถเป็นประโยชน์เพื่อการเกษตร)และมาตรฐานน้ำดิบของการประปาส่วนภูมิภาคดังตารางที่ 4.6 (รายละเอียดมาตรฐานน้ำแสดงในภาคผนวก ง) พบว่าลักษณะน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ยังไม่สามารถนำกลับมาใช้ในการล้างโรงเรือนและตัวสุกรได้ เนื่องจากในน้ำยังมีแบคทีเรียเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจทำให้สุกรในฟาร์มเกิดโรคได้ การเปรียบเทียบ Total Coliform Bacteria แม้ว่าการศึกษาวิจัยจะใช้วิธีที่แตกต่างกับวิธีการในมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่มิใช่ทะเลประเภทที่ 3 และมาตรฐานน้ำดิบการประปาส่วนภูมิภาค แต่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ โดยจาก “Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater” (1995) อธิบายว่าผลจากวิธี Multiple-tube (MPN/100mL) จะให้ค่าที่สูงกว่าผลที่ได้จากวิธี Membrane Filter (no./100mL) แต่เมื่อนำลักษณะสมบัติน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดเปรียบเทียบกับร่างมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดเป็นไปตามร่างมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร สามารถปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำหรือแม่น้ำได้ แต่ควรมีการกำจัดแบคทีเรียก่อนทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ (โดยฟาร์มสุกรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมีสุกรประมาณ 800 ตัว จัดอยู่ในฟาร์มสุกรประเภท ข)

4.7 ตัวอย่างการคำนวณออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

ฟาร์มสุกรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมีสุกรในฟาร์มประมาณ 800 ตัว น้ำเสียที่เกิดขึ้นประมาณ 30,000 L/d ค่า BOD น้ำเสียฟาร์มสุกรเท่ากับ 200 mg/L ต้องการออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีแบบไหลผ่านพื้นผิว เพื่อให้เป็นไปตามร่างมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

- ความลึกของน้ำ = 25 cm
- ชั้นดินสูง = 50 cm

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กับมาตรฐานน้ำต่าง ๆ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	น้ำเข้า	กกกลมที่เวลากักเก็บน้ำ (วัน)				ธูปฤาษีที่เวลากักเก็บน้ำ (วัน)				ร่างมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร		มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่3	มาตรฐานน้ำดิบการประปาส่วนภูมิภาค
		27.7	15.5	6.3	3.7	26.9	15.5	7.2	4.3	มาตรฐาน ก	มาตรฐาน ข		
Temperature ($^{\circ}$C)	27-33	29.8	30.8	31.3	31.5	29.8	30.6	30.9	29.9	-	-	ธ	-
pH	7.5-8.9	7.2	6.9	7.4	7.0	7.3	7.0	7.4	6.9	5.5 – 9	5.5 – 9	5.0-9.0	-
BOD (mg/L)	120-178	75	54	56	63	78	62	66	78	60	100	2	6
COD (mg/L)	293-465	180	134	144	166	190	154	169	188	300	400	-	10
TSS (mg/L)	80 - 158	19	33	31	44	22	28	34	42	150	200	-	-
TDS (mg/L)	809 - 1105	1701	994	926	1020	1277	963	1048	1106	-	-	-	1,500
TKN (mg/L)	28- 46	7	9	9	15	9	10	11	14	120	200	-	0.5
NO_3-N (mg/L)	1.5 - 1.8	1.0	1.3	1.4	1.2	1.1	1.2	1.3	1.4	-	-	5	45
TP (mg/L)	77-102	39	65	65	81	50	79	84	85	-	-	-	-
Total Coliform Bacteria ($\times 10^6$no./100 mL)	4.1 - 17.7	4.40	2.08	3.44	1.93	3.03	1.47	4.29	5.67	-	-	20,000 MPN/100mL	< 50,000 MPN/100 mL

หมายเหตุ - ลักษณะสมบัติน้ำเข้าทำการทดสอบ 23 ครั้ง

- ลักษณะสมบัติน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ได้จากค่าเฉลี่ยซึ่งทำการทดสอบ 4 ครั้ง

- อุณหภูมิน้ำ = 30 $^{\circ}C$
- n = 0.4 (เมื่อใช้ลักษณะชั้นดินเหมือนการทดลองนี้)
- A_v = 15.7 m^2/m^3
- F = 0.566
- K_{20} = 0.000073 d^{-1}
- $K_T = K_{20}\theta^{T-20}$

  $= 0.000073\times(1.1)^{30-20}$

  $= 0.00019$ d^{-1}

1. ขั้นตอนการคำนวณหาเวลากักเก็บน้ำที่เหมาะสม

$$\frac{C_e}{C_0} = F\exp\left[-0.7K_T(A_v)^{1.75}t\right]$$

$$\frac{100}{200} = 0.566\times\exp\left[-0.7\times0.00019\times\left(15.7^{1.75}\right)\times t\right]$$

t = 7.5 วัน ≈ 8 วัน

2. ขั้นตอนการคำนวณพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ที่ต้องการ

$$A = \frac{Q\times t}{\left(d_n n + d_w\right)}$$

$$= \frac{30\times8}{(0.4\times0.5)+0.25}$$

= 533 m^2 ≈ 540 m^2

Reed et al. (1988) แนะนำอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างเท่ากับ 10:1 ดังนั้นจึงได้ความยาว×ความกว้าง เท่ากับ 74×7.4 m^2

3. การคำนวณอัตราภาระอินทรีย์ (Organic Loading Rate ≅ ORL)

$$ORL = \frac{200 \times 10^{-3} \times 30}{540 \times 10^{-4}}$$

$$= 109 \quad kg\ BOD/ha \cdot d$$

อัตราภาระอินทรีย์ที่ได้มีค่าไม่เกิน 112 kg BOD/ha·d (ข้อแนะนำการออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำของ Reed et al.) ดังนั้นพื้นที่ชุ่มน้ำนี้ระบบจะไม่ล้มเหลว เนื่องจากการรับภาระสารอินทรีย์มากเกิน

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ที่เวลากักเก็บน้ำ 4-27 วัน อัตราภาระสารอินทรีย์อยู่ในช่วง 35-210 kg BOD/ha·d มีประสิทธิภาพการกำจัด BOD อยู่ในช่วง 66-92%, TSS อยู่ในช่วง 70-97%, TKN อยู่ในช่วง 72-96%, NO_3-N อยู่ในช่วง 47-83%, TP อยู่ในช่วง 39-81% และ Total Coliform Bacteria อยู่ในช่วง 52-85%
2. พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่เวลากักเก็บน้ำมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการกำจัด โดยเมื่อเวลากักเก็บน้ำนานจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูง
3. การเลือกพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ระหว่างกกกลมและธูปฤาษีสำหรับบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร เพื่อให้เป็นไปตามร่างมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรของกรมควบคุมมลพิษ ควรเลือกพืชที่มีอยู่ในพื้นที่บริเวณนั้น เนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัดของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีมีค่าไม่แตกต่างกัน สิ่งที่ต้องคำนึงในการออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ เวลากักเก็บน้ำ แม้ว่าที่เวลากักเก็บน้ำนาน ๆ ประสิทธิภาพการกำจัดจะสูง แต่เกษตรกรควรเลือกเวลากักเก็บน้ำประมาณ 7 วัน เพราะประสิทธิภาพการกำจัดต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์ดีและใช้พื้นที่น้อย ซึ่งคุ้มค่าการลงทุน แต่อย่างไรก็ตามควรมีการคำนวณการออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ซึ่งทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำสามารถปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำหรือแม่น้ำได้
4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การกำจัด BOD ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีจะมีความสัมพันธ์กับเวลากักเก็บน้ำ, เศษส่วนของ BOD ที่ไม่สามารถกำจัดได้ (F) และค่าคงที่ปฏิกิริยา (k_T) โดยค่าคงที่ F ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีเท่ากับ 0.463 และ 0.566 ตามลำดับ สำหรับค่า K_{20} ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีเท่ากับ 0.000045 และ 0.000073 ตามลำดับ จะสามารถใช้ค่าคงที่ดังกล่าวได้ก็ต่อเมื่อพื้นที่ชุ่มน้ำมีเวลากักเก็บน้ำอยู่ในช่วง 4-27 วัน
5. เมื่อพิจารณาลักษณะสมบัติน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กับมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่มิใช่ทะเลและมาตรฐานน้ำดิบการประปาส่วนภูมิภาค พบว่าลักษณะน้ำทิ้งที่ผ่านการ

บำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ยังไม่สามารถนำกลับมาใช้ในการล้างโรงเรือนและตัวสุกรได้ เนื่องจากในน้ำยังมีแบคทีเรียเป็นจำนวนมาก อาจทำให้สุกรในฟาร์มเกิดโรคได้ แต่น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดเป็นไปตามร่างมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร (มาตรฐาน ข) ดังนั้นจึงสามารถปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำหรือแม่น้ำได้ แต่ควรมีการกำจัดแบคทีเรียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการทดลองกับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ที่มีขนาดใหญ่ เช่น Pilot-scale และ Full-scale
2. ควรทำการทดลองกับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ที่ใช้พืชโผล่พ้นน้ำชนิดอื่น ๆ เพื่อหาชนิดพืชที่มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ดีที่สุด
3. ควรทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของชั้นดินที่มีต่อพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ เช่น พื้นที่ผิวสัมผัสสำหรับกิจกรรมของจุลินทรีย์, อัตราส่วนช่องว่างของดิน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสีย
4. ควรทำการแปรเปลี่ยนระดับน้ำของพืชพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แต่ละชนิด โดยหาความลึกของน้ำที่สูงที่สุดที่ยังให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียดี เพื่อลดขนาดพื้นที่ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

รายการเอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กองวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. (2538). **การผลิตและการตลาดสุกร**. กรุงเทพ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2539). **แนวทางพัฒนาสุกร ในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (2540-2544)**. กรุงเทพ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรมควบคุมมลพิษ. (2542). **คู่มือการจัดการฟาร์มสุกรเพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม**. กรุงเทพ: กรมควบคุมมลพิษ.

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรมควบคุมมลพิษ. (2543). **การจัดการน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (Piggery Waastewater Management)** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.pcd.go.th/Public/News/GetNews.cfm?id=54

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรมควบคุมมลพิษ. (2544). **มาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.pcd.go.th

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2535). **พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง**. กรุงเทพ: ชวนพิมพ์.

กัลยา วาณิชย์บัญชา. (2539). **การวิเคราะห์สถิติ : สถิติเพื่อการตัดสินใจ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กัลยา วาณิชย์บัญชา. (2543). **การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ: ซี เอ แอนด์ เอส โฟโต้สตูดิโอ.

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

จรัญ จันทลักขณา. (2540). ปศุสัตว์ กับสิ่งแวดล้อม และชุมชน. ใน สัญชัย จตุรสิทธา (บรรณาธิการ). **แนวโน้มการผลิตปศุสัตว์ในประเทศไทย** (หน้า 43-57). เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. (2537). การนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมาใช้ประโยชน์ (2). **วิศวกรรมสาร** 47 (5): 66-75.

ธีระ เกรอต. (2539). **วิศวน้ำเสีย: การบำบัดทางชีวภาพ**. กรุงเทพ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

ไพบูลย์ ประพฤติธรรม. (2528). **เคมีของดิน**. กรุงเทพ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ราชบัณฑิตยสถาน. (2538). **อนุกรมวิธานพืช อักษร ก. ฉบับราชบัณฑิตยสถาน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ: เพื่อนพิมพ์.

ราชบัณฑิตยสถาน. (2541). **ศัพท์พฤกษศาสตร์ อังกฤษ-ไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถาน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ: อรุณการพิมพ์.

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

สมาคมผู้เลี้ยงสุกรแห่งชาติ. (2541). การรักษาสภาวะแวดล้อมในการเลี้ยงสุกรและการพัฒนาผลิตภัณฑ์สุกรเพื่อการส่งออก. **สุกรสาส์น** 24(98): 47-51.

สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. (2542). **รวมกฎหมายสิ่งแวดล้อมสำหรับผู้ปฏิบัติ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ: มิตรนราการพิมพ์.

สมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย. (2537). ทางเลือกใหม่ของการบำบัดน้ำเสีย. **วิศวกรรมสาร** 47(9): 83-84.

สุชาดา ศรีเพ็ญ. (2530). **พรรณไม้น้ำ**. กรุงเทพ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุชาติ ฑีฆกุล. (2531). น้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสุกร. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 3(1): 35-42.

สุชาติ ฑีฆกุล และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. (2534). การกำจัดของเสียและน้ำเสียฟาร์มเลี้ยงสุกร. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 6(1): 43-47.

อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. (2538). เคมีวิทยาของน้ำเสีย. ใน เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ (บรรณาธิการ). **การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย** (หน้า 43-57). กรุงเทพ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุดร จารุรัตน์. (2537). การใช้บึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands) ในการบำบัดน้ำเสีย. **วิศวกรรมสาร** 47(2): 66-68.

ภาษาอังกฤษ

APHA, AWWA, and WEF. (1995). **Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater** (19th edition). Washington D.C.: American Public Health Association.

Brix, H. (1993). Wastewater Treatment in Constructed Wetlands: System Design, Removal Process, and Treatment Performance. In G.A. Moshiri (ed.). **Constructed Wetlands for Water Quality Improvement** (pp 9-34). Boca Raton: Lewis.

Cooper, P.F., Job, G.D., Green, M.B., and Shutes, R.B.E. (1996). **Reed beds & Constructed Wetlands for Wastewater Treatment.** Bucks: WRc.

Costa, R.H.R., Bavaresco, A.S.L., Medri, W., and Philippi, L.S. (2000). Tertiary Treatment of Piggery Wastes in Water Hyacinth Ponds. **Water Science and Technology.** 42(10-11): 211-214.

Crites, R.W. (1994). Design Criteria and Practice for Constructed Wetlands. **Water Science and Technology.** 29(4): 1-6.

Davis, L., DuPoldt, C., and Edwards, R. (1997). **A Handbook of Constructed Wetlands.** Washington DC: U.S. Government Printing Office.

Gerberg, R.M., Elkins, B.V., and Goldman, C.R. (1986). Role of Aquatic Plants in Wastewater Treatment by Artificial Wetland. **Water Research**. 21(3): 363-368.

Gray, K.R., Uvarkin, A.V., and Biddlestane, A.J. (1991). Purification of Wastewater from Industrial Pig Farm in the USSR. **J. Agric. Engng. Res.** 49: 21-31.

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

Koottatep, T. (1999). **Nitrogen Removal in Constructed Wetlands Located in the Tropics**. Doctoral. thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok.

Levenspiel, O. (1972). **Chemical Reaction Engineering** (2nd ed.). New York: Wiley International.

Metcalf and Eddy. (1991). **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse** (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.

Polprasert, C., Khatiwada, N. R., and Bhurtel, J. (1998a). Design Model for COD Removal in Constructed Wetlands Based on Biofilm Activity. **Journal of Environmental Engineering**. 24(9): 838-843.

Polprasert, C., Khatiwada, N. R., and Bhurtel, J. (1998b). A Model for Organic Matter Removal in Free Water Surface Constructed Wetlands. **Water Science and Technology.** 38(1): 369-377.

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

Reed, S.C., Middlebrooks, E.J., and Crites, R.W. (1988). **Natural System for Waste Management and Treatment** (1st ed.). New York :McGraw-Hill.

Reed, S.C., Parten, S., Matzen, G. and plhren, R. (1998). Water Reuse for Sludge Management and Wetland Habitant. **Water Science and Technology.** 33: 213-219.

Tchobanoglus, G. and Culp, G. (1980). **Aquaculture Systems for Wastewater Treatment: An Engineering Assessment**. EPA 430/9-80-007. Washington DC: Environmental Protection Agency Office of Water Program Operations.

US Army Corps of Engineering. (1993). **Selection and Acquisition of Wetland Plant Species for Wetland Management Project.** VN-EM-2.1. Vicksburg: US Army Corps of Engineering.

U.S. EPA. (1988). **Design Manual: Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment**. EPA 625/11-88/022. Cincinati, Ohio: Center for Environmental Research Information.

ภาคผนวก ก.

ผลการศึกษาสารติดตาม

การคำนวณการศึกษาสารติดตาม

ก.1 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลม

$T_{\text{ทางทฤษฎี}} = V/Q$

$= \dfrac{0.5 \times 1.25 \times [0.25 + (0.4 \times 0.5)]m^3}{[(1.2 + 0.8)/2]m^3/hr}$

$= 0.281$ hr

$T_{mean} = \dfrac{\sum t_i C_i \Delta t_i}{\sum C_i \Delta t_i}$

$= 7.7717/0.465$

$= 16.713$ min $= 0.279$ hr

$\sigma^2 = \dfrac{\sum t_i^2 C_i \Delta t_i}{\sum C_i \Delta t_i} - T_{mean}^2$

$= (173.8879/0.465) - 16.713^2$

$= 94.628$

$2d + 8d^2 = \dfrac{\sigma^2}{T_{mean}^2}$

$= 94.628/16.713^2$

$= 0.339$

$d = 0.116$

ก.2 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษี

$T_{\text{ทางทฤษฎี}} = V/Q$

$= \dfrac{0.5 \times 1.25 \times [0.25 + (0.4 \times 0.5)]m^3}{[(0.762 + 0.457)/2]m^3/hr}$

$= 0.461$ hr

T_{mean} = $\frac{\sum t_i C_i \Delta t_i}{\sum C_i \Delta t_i}$

= 9.9975/0.4905

= 20.382 min = 0.34 hr

σ^2 = $\frac{\sum t_i^2 C_i \Delta t_i}{\sum C_i \Delta t_i} - T_{mean}^2$

= $(287.5125/0.4905) - 20.382^2$

= 170.736

$2d + 8d^2$ = $\frac{\sigma^2}{T_{mean}^2}$

= $170.736/20.382^2$

= 0.41

d = 0.134

ตารางที่ 1ก ผลการศึกษาสารติดตามของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลม

time (min)	mL $AgNO_3$	C (mg/L)	time (min)	Δt_i	C (g/L)	$C/C_0=C_i$	$C_i t_i$	$tC_i t_i$	$t^2C_i t_i$
0	0.8	0.00	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
5	7.6	344.56	5	5	0.3446	0.0091	0.0455	0.2275	1.14
10	21.0	977.04	10	5	0.9770	0.0259	0.1295	1.2950	12.95
13	19.0	882.64	13	3	0.8826	0.0234	0.0702	0.9126	11.86
15	17.4	807.12	15	2	0.8071	0.0214	0.0428	0.6420	9.63
18	12.7	585.28	18	3	0.5853	0.0155	0.0465	0.8370	15.07
21	8.9	405.92	21	3	0.4059	0.0108	0.0324	0.6804	14.29
24	6.3	283.20	24	3	0.2832	0.0075	0.0225	0.5400	12.96
27	4.7	207.68	27	3	0.2077	0.0055	0.0165	0.4455	12.03
30	3.9	169.92	30	3	0.1699	0.0045	0.0135	0.4050	12.15
33	3.9	169.92	33	3	0.1699	0.0045	0.0135	0.4455	14.70
36	2.8	118.00	36	3	0.1180	0.0031	0.0093	0.3348	12.05
39	2.2	89.68	39	3	0.0897	0.0024	0.0072	0.2808	10.95
42	2.0	80.24	42	3	0.0802	0.0021	0.0063	0.2646	11.11
45	1.2	42.48	45	3	0.0425	0.0011	0.0033	0.1485	6.68
50	0.9	28.32	50	5	0.0283	0.0007	0.0035	0.1750	8.75
55	0.7	18.88	55	5	0.0189	0.0005	0.0025	0.1375	7.56
						ผลรวม	0.465	7.7717	173.89

ตารางที่ 2ก ผลการศึกษาสารติดตามของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษี

time (min)	mL $AgNO_3$	C (mg/L)	time (min)	Δt_i	C (g/L)	$C/C_0=C_i$	$C_i t_i$	$tC_i t_i$	$t^2C_i t_i$
0	0.80	0.00	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.00
5	9.40	429.52	5	5	0.4295	0.0114	0.0570	0.285	1.43
10	14.10	651.36	10	5	0.6514	0.0173	0.0865	0.865	8.65
15	18.10	840.16	15	5	0.8402	0.0223	0.1115	1.673	25.09
20	12.50	575.84	20	5	0.5758	0.0153	0.0765	1.530	30.60
25	8.00	363.44	25	5	0.3634	0.0096	0.0480	1.200	30.00
30	6.00	269.04	30	5	0.2690	0.0071	0.0355	1.065	31.95
35	4.10	179.36	35	5	0.1794	0.0048	0.0240	0.840	29.40
40	3.00	127.44	40	5	0.1274	0.0034	0.0170	0.680	27.20
45	2.10	84.96	45	5	0.0850	0.0023	0.0115	0.518	23.29
50	1.50	56.64	50	5	0.0566	0.0015	0.0075	0.375	18.75
55	1.20	42.48	55	5	0.0425	0.0011	0.0055	0.303	16.64
60	0.80	23.60	60	5	0.0236	0.0006	0.0030	0.180	10.80
65	0.80	23.60	65	5	0.0236	0.0006	0.0030	0.195	12.68
70	0.60	14.16	70	5	0.0142	0.0004	0.0020	0.140	9.80
75	0.60	14.16	75	5	0.0142	0.0004	0.0020	0.150	11.25
						ผลรวม	0.4905	9.998	287.51

ภาคผนวก ข.

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสียฟาร์มสุกรที่เข้าและออกพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

ตารางที่ 1ข ลักษณะสมบัติน้ำเข้าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

เดือน/วัน/ปี	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TSS (mg/L)	TDS (mg/L)	TKN (mg/L)	NO_3-N (mg/L)	TP (mg/L)	Total Coliform Bacteria no./100 mL
7/5/00	590.4	220.7	118.0	1380.0	52.2	1.522	59.9	1.58E+07
7/6/00	492.0	195.3	272.0	1220.0	45.0	1.599	68.1	3.01E+07
7/7/00	623.2	238.1	190.0	1298.0	48.3	1.405	58.6	2.32E+07
11/7/00	331.9	136.7	112.0	910.0	43.3	1.483	96.6	7.10E+06
11/8/00	412.6	141.9	136.0	865.0	32.3	1.781	86.2	8.10E+06
11/9/00	356.4	138.0	104.0	930.0	48.2	1.514	98.2	6.30E+06
11/10/00	375.4	151.5	98.0	975.0	47.0	1.612	93.7	8.54E+06
11/30/00	300.8	129.9	108.0	915.0	41.8	1.677	99.4	7.20E+06
12/1/00	325.3	132.9	96.0	895.0	37.8	1.586	94.7	6.00E+06
12/2/00	367.3	148.5	104.0	870.0	34.5	1.547	104.0	2.30E+06
12/3/00	337.6	138.4	116.0	935.0	39.4	1.418	91.2	5.70E+06
12/6/00	337.9	135.3	128.0	920.0	38.6	1.679	106.7	1.13E+07
12/7/00	294.6	134.0	104.0	925.0	36.9	1.633	100.1	7.80E+06
12/8/00	374.6	138.3	112.0	1065.0	32.3	1.856	96.5	9.50E+06
12/9/00	359.0	136.9	116.0	930.0	24.4	1.920	91.2	6.95E+06
12/20/00	398.1	147.0	132.0	870.0	29.6	1.546	96.5	7.02E+06
12/21/00	343.5	151.5	112.0	895.0	31.5	1.674	91.4	1.24E+07
12/22/00	317.1	132.1	100.0	970.0	34.4	1.789	93.0	8.52E+06
12/23/00	356.2	134.0	92.0	855.0	39.0	1.599	91.7	2.48E+07
12/24/00	328.2	137.0	104.0	820.0	48.3	1.910	88.2	9.08E+06
12/25/00	295.5	141.5	100.0	850.0	19.1	1.885	81.7	9.14E+06
12/26/00	357.6	132.1	84.0	810.0	20.7	1.675	79.2	1.10E+07
12/27/00	442.7	134.0	98.0	905.0	31.3	1.802	89.9	1.36E+07
ค่าเฉลี่ย	379.04	148.93	118.96	956.87	37.21	1.66	89.42	1.09E+07
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	85.57	28.76	39.46	147.87	8.98	0.15	12.57	6.71E+06

ตารางที่ 2ข COD (mg/L) ที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมที่เวลากักเก็บน้ำ 27.7 วัน

เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
4/16/00	873.6	436.8	25.01	6/4/00	958.6	211.2	68.26
4/17/00	890.4	459.2	21.17	6/7/00	492.8	140.8	78.84
4/18/00	789.6	319.2	52.03	6/9/00	540.0	70.4	89.42
4/19/00	907.2	403.2	39.40	6/11/00	540.0	262.8	60.50
4/20/00	721.6	393.6	40.85	6/13/00	993.6	253.9	61.84
5/2/00	426.4	524.8	21.13	6/15/00	288.0	223.2	66.46
5/3/00	459.2	131.2	80.28	6/17/00	504.0	208.8	68.62
5/4/00	800.0	384.0	42.29	6/19/00	432.0	219.6	67.00
5/5/00	544.0	160.0	75.95	6/21/00	336.0	168.0	74.75
5/6/00	896.0	384.0	42.29	6/22/00	668.0	181.4	72.73
5/7/00	608.0	192.0	71.14	6/23/00	480.0	174.7	73.74
5/8/00	739.2	268.8	59.60	6/24/00	576.0	182.3	72.60
5/10/00	688.0	176.0	73.55	6/25/00	756.0	184.8	72.23
5/11/00	590.4	240.0	63.93	6/28/00	436.8	184.9	72.21
5/12/00	688.8	328.0	50.7	6/29/00	604.8	194.9	70.71
5/19/00	590.4	426.4	35.92	6/30/00	336.0	183.0	72.50
5/22/00	459.2	32.8	95.07	7/1/00	336.0	171.4	74.25
5/25/00	754.4	65.6	90.14	7/2/00	504.0	174.7	73.74
5/26/00	1344.0	65.6	90.14	7/3/00	504.0	191.5	71.22
5/27/00	608.0	224.0	66.34	7/4/00	470.4	184.8	72.23
5/29/00	1408.0	246.4	62.97	7/5/00	590.4	193.5	70.92
5/31/00	1302.4	316.8	52.39	7/6/00	492.0	170.6	74.37
6/3/00	1056.0	268.0	59.72	7/7/00	623.2	177.1	73.38
				ค่าเฉลี่ย	582.49	182.63	72.55

ตารางที่ 3ข COD (mg/L) ที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมที่เวลากักเก็บน้ำ 15.5 วัน

เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
7/19/00	384.0	268.8	19.41	9/16/00	319.4	99.8	70.08
7/23/00	451.2	165.4	50.40	9/17/00	325.4	160.7	51.82
7/25/00	263.2	173.0	48.14	9/18/00	211.7	133.3	60.03
7/31/00	356.6	150.4	54.91	9/19/00	250.9	133.3	60.03
8/1/00	294.4	176.6	47.04	9/20/00	279.4	107.5	67.77
8/3/00	2304.0	172.8	48.19	9/21/00	265.0	111.4	66.60
8/5/00	396.0	219.6	34.16	9/25/00	248.2	120.3	63.93
8/8/00	288.0	111.6	66.54	9/27/00	221.8	97.8	70.69
8/10/00	571.2	183.6	44.95	9/28/00	173.0	75.2	77.45
8/15/00	350.4	232.5	30.29	10/1/00	203.8	121.5	63.57
8/20/00	320.0	212.0	36.44	10/2/00	176.4	86.2	74.15
8/21/00	340.9	248.1	25.61	10/5/00	145.0	90.2	72.96
8/22/00	360.0	224.0	32.84	10/7/00	260.5	74.5	77.66
8/25/00	360.0	100.7	69.80	10/9/00	499.0	215.4	35.42
8/26/00	308.0	96.0	71.22	10/14/00	261.0	115.2	65.46
8/27/00	412.0	112.0	66.42	10/15/00	314.9	130.6	60.84
8/28/00	372.4	145.0	56.51	10/16/00	215.0	122.9	63.15
8/29/00	321.4	258.7	22.43	10/17/00	184.3	134.4	59.70
8/30/00	415.5	137.2	58.86	10/18/00	268.7	199.7	40.12
9/1/00	388.1	145.0	56.51	10/19/00	291.8	115.2	65.46
9/2/00	301.8	152.9	54.16	10/20/00	176.0	84.0	74.81
9/7/00	408.0	134.6	59.64	10/27/00	264.0	120.0	64.02
9/8/00	257.0	146.9	55.95	10/28/00	216.0	152.0	54.43
9/10/00	286.0	163.2	51.07	10/29/00	168.0	116.0	65.22
9/11/00	176.6	115.2	65.46	10/30/00	232.0	112.0	66.42
9/12/00	172.8	103.7	68.91	10/31/00	320.0	148.0	55.62
9/13/00	188.2	119.0	64.32	11/1/00	227.4	117.6	64.74
9/15/00	234.2	99.8	70.06	11/2/00	247.1	141.1	57.69

ตารางที่ 3ข (ต่อ) COD (mg/L) ที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมที่เวลากักเก็บน้ำ 15.5 วัน

เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
11/3/00	266.6	145.0	56.52	11/23/00	342.9	256.8	23.00
11/5/00	258.7	152.9	54.16	11/24/00	342.9	243.7	26.93
11/6/00	278.9	145.0	56.52	11/25/00	350.2	279.7	16.14
11/7/00	331.9	179.5	46.17	11/27/00	325.6	218.1	34.61
11/8/00	412.6	151.0	54.74	11/28/00	365.9	176.7	47.02
11/9/00	356.4	140.0	58.02	11/29/00	331.0	165.2	50.47
11/10/00	375.4	148.0	55.62	11/30/00	300.8	148.2	55.56
11/11/00	325.7	203.8	38.89	12/1/00	325.3	146.6	56.04
11/12/00	398.4	168.6	49.45	12/2/00	367.3	128.9	61.35
11/13/00	351.1	156.8	52.99	12/3/00	337.6	140.3	57.93
11/14/00	334.8	207.8	37.69	12/4/00	402.7	143.6	56.94
11/15/00	436.7	160.7	51.82	12/5/00	388.0	134.4	59.70
11/16/00	399.4	172.5	48.28	12/6/00	337.9	130.0	61.02
11/19/00	320.0	176.4	47.11	12/7/00	294.6	135.0	59.52
11/20/00	358.3	180.3	45.94	12/8/00	374.6	133.5	59.97
11/21/00	328.2	200.7	39.82	12/9/00	359.0	138.2	58.56
11/22/00	356.4	213.4	36.02	ค่าเฉลี่ย	333.52	137.87	58.66

ตารางที่ 4ข COD (mg/L) ที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมที่เวลากักเก็บน้ำ 6.3 วัน

เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
7/31/00	356.6	176.6	51.70	9/19/00	250.9	121.5	66.78
8/1/00	294.4	180.3	50.70	9/20/00	279.4	92.2	74.79
8/3/00	2304.0	172.8	52.75	9/21/00	265.0	99.8	72.71
8/5/00	396.0	165.6	54.72	9/25/00	248.2	105.3	71.21
8/8/00	288.0	129.6	64.56	9/27/00	221.8	67.7	81.49
8/10/00	571.2	179.5	50.91	9/28/00	173.0	71.4	80.46
8/15/01	350.4	184.6	49.52	10/1/00	203.8	86.2	76.43
8/20/00	320.0	180.0	50.78	10/2/00	176.4	125.4	65.71
8/21/00	340.9	188.0	48.59	10/3/00	190.6	133.3	63.55
8/22/00	360.0	180.0	50.78	10/5/00	145.0	90.2	75.33
8/25/00	360.0	200.0	45.31	10/7/00	260.5	98.0	73.20
8/26/00	308.0	176.0	51.87	10/9/00	499.0	165.1	54.85
8/27/00	412.0	184.0	49.68	10/11/01	275.9	134.4	63.25
8/28/00	372.4	164.6	54.98	10/14/00	261.0	107.5	70.60
8/29/00	321.4	145.0	60.34	10/15/00	314.9	149.8	59.04
8/30/00	415.5	188.2	48.55	10/16/00	215.0	103.7	71.64
9/1/00	388.1	113.7	68.91	10/17/00	184.3	126.7	65.35
9/2/00	301.8	372.4	-1.83	10/18/00	268.7	103.7	71.64
9/7/00	408.0	69.3	81.05	10/19/00	291.8	107.5	70.60
9/8/00	257.0	102.0	72.11	10/20/00	176.0	92.0	74.84
9/10/00	286.0	167.3	54.25	10/27/00	264.0	110.2	69.87
9/11/00	176.6	96.0	73.75	10/28/00	216.0	140.0	61.72
9/12/00	172.8	88.3	75.85	10/29/00	168.0	112.0	69.37
9/13/00	188.2	96.0	73.75	10/30/00	232.0	96.0	73.75
9/15/00	234.2	111.4	69.55	10/31/00	320.0	168.0	54.06
9/16/00	319.4	80.6	77.96	11/1/00	227.4	129.4	64.61
9/17/00	325.4	113.7	68.91	11/2/00	247.1	113.7	68.91
9/18/00	211.7	117.6	67.84	11/3/00	266.6	172.5	52.83

ตารางที่ 4ข (ต่อ) COD (mg/L) ที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมที่เวลากักเก็บน้ำ 6.3 วัน

เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
11/5/00	258.7	141.1	61.42	12/3/00	337.6	130.0	64.45
11/6/00	278.9	129.4	64.61	12/4/00	402.7	140.4	61.61
11/7/00	331.9	118.3	67.64	12/5/00	388.0	140.4	61.61
11/8/00	412.6	134.6	63.18	12/6/00	337.9	133.8	63.41
11/9/00	356.4	108.0	70.47	12/7/00	294.6	125.6	65.65
11/10/00	375.36	68.0	81.41	12/8/00	374.6	144.3	60.54
11/11/00	325.7	149.0	59.26	12/9/00	359.0	157.8	56.85
11/12/00	398.4	113.7	68.91	12/10/00	374.6	139.4	61.88
11/13/00	351.1	109.8	69.97	12/11/00	359.0	122.5	66.50
11/14/00	334.8	125.4	65.71	12/12/00	293.3	131.6	64.01
11/15/00	436.7	133.3	63.55	12/13/00	398.6	146.7	59.88
11/16/00	399.4	133.3	63.55	12/14/00	449.0	135.6	62.92
11/19/00	320.0	141.1	61.42	12/15/00	372.3	149.5	59.12
11/20/00	358.3	154.6	57.72	12/16/00	361.9	135.7	62.89
11/21/00	328.2	191.3	47.69	12/17/00	369.3	125.1	65.79
11/22/00	356.4	176.6	51.71	12/18/00	306.1	132.5	63.77
11/23/00	342.9	195.0	46.68	12/19/00	313.4	144.8	60.40
11/24/00	342.9	180.3	50.70	12/20/00	398.1	136.2	62.76
11/25/00	350.2	161.9	55.73	12/21/00	343.5	149.2	59.20
11/27/00	325.6	154.2	57.83	12/22/00	317.1	140.4	61.61
11/28/00	365.9	124.1	66.06	12/23/00	356.2	136.8	62.59
11/29/00	331.0	161.7	55.78	12/24/00	328.2	147.2	59.75
11/30/00	300.8	142.9	60.92	12/25/00	295.5	147.2	59.75
12/1/00	325.3	133.8	63.41	12/26/00	357.6	139.8	61.77
12/2/00	367.3	154.9	57.65	12/27/00	442.7	143.5	60.76
				ค่าเฉลี่ย	322.49	141.76	61.24

ตารางที่ 5ข COD (mg/L) ที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมที่เวลากักเก็บน้ำ 3.7 วัน

เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
7/23/00	451.2	180.5	45.33	9/15/00	234.2	76.8	76.74
7/25/00	263.2	180.5	45.33	9/16/00	319.4	99.8	69.77
7/27/01	423.1	391.0	-18.44	9/17/00	325.4	172.5	47.75
7/31/00	356.6	221.8	32.81	9/18/00	211.7	145.0	56.08
8/1/00	294.4	283.4	14.17	9/19/00	250.9	125.4	62.02
8/3/00	2304.0	211.2	36.03	9/20/00	279.4	134.4	59.29
8/5/00	396.0	212.4	35.67	9/21/00	265.0	161.3	51.14
8/8/00	288.0	172.8	47.66	9/25/00	248.2	221.8	32.82
8/10/00	571.2	208.1	36.97	9/27/00	221.8	135.4	59.00
8/15/01	350.4	243.6	26.22	9/28/00	173.0	75.2	77.22
8/19/01	360.5	272.0	17.61	10/1/00	203.8	164.6	50.14
8/20/01	320.0	256.0	22.46	10/2/00	176.4	123.4	62.62
8/21/01	340.9	328.0	0.65	10/3/00	190.6	149.0	54.87
8/22/01	360.0	276.0	16.40	10/5/00	145.0	145.0	56.08
8/25/00	360.0	208.0	37.00	10/7/00	260.5	138.4	58.08
8/26/00	308.0	216.0	34.58	10/9/00	499.0	126.7	61.62
8/27/00	412.0	208.0	37.00	10/11/00	275.9	130.6	60.44
8/28/00	372.4	203.8	38.26	10/14/00	261.0	169.0	48.81
8/29/00	321.4	184.2	44.20	10/15/00	314.9	107.5	67.44
8/30/00	415.5	156.8	52.51	10/16/00	215.0	111.4	66.26
9/1/00	388.1	152.9	53.69	10/17/00	184.3	134.4	59.29
9/2/00	301.8	149.0	54.88	10/18/00	268.7	122.9	62.77
9/7/00	408.0	220.3	33.27	10/19/00	291.8	130.4	60.50
9/8/00	257.0	130.6	60.44	10/20/00	176.0	88.0	73.35
9/10/00	286.0	102.0	69.10	10/27/00	264.0	120.0	63.65
9/11/00	176.6	142.1	56.96	10/28/00	216.0	144.0	56.38
9/12/00	172.8	119.0	63.96	10/29/00	168.0	112.0	66.08
9/13/00	188.2	130.6	60.45	10/30/00	232.0	104.0	68.50

ตารางที่ 5ข (ต่อ) COD (mg/L) ที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมที่เวลากักเก็บน้ำ 3.7 วัน

เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
10/31/00	320.0	160.0	51.54	11/16/00	399.4	156.8	52.51
11/1/00	227.4	121.5	63.20	11/17/00	320.0	176.4	46.57
11/2/00	247.1	160.7	51.33	11/18/00	358.3	179.6	45.60
11/3/00	266.6	176.4	46.57	11/19/00	328.2	185.8	43.72
11/4/00	258.7	152.9	53.69	11/20/00	356.4	190.8	42.21
11/5/00	278.9	145.0	56.08	11/21/00	342.9	181.4	45.06
11/7/00	331.9	151.0	54.28	11/22/00	342.9	173.0	47.60
11/8/00	412.6	138.7	57.98	11/23/00	350.2	178.7	45.87
11/9/00	356.4	160.0	51.54	11/27/00	325.6	169.2	48.75
11/10/00	375.4	136.0	58.81	11/28/00	365.9	170.5	48.36
11/11/00	325.7	164.6	50.14	11/29/00	331.0	176.8	46.45
11/12/00	398.4	145.0	56.08	11/30/00	300.8	165.4	49.90
11/13/00	351.1	180.3	45.39	12/1/00	325.3	169.2	48.75
11/14/00	334.8	172.5	47.75	12/2/00	367.3	161.9	50.96
11/15/00	436.7	168.6	48.93	12/3/00	337.6	165.6	49.84
				ค่าเฉลี่ย	282.77	171.17	48.15

ตารางที่ 6ข COD (mg/L) ที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ชูปฤาษีที่เวลากักเก็บน้ำ 26.9 วัน

เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
4/16/00	873.6	571.2	14.15	6/4/00	958.6	246.4	62.97
4/17/00	890.4	453.6	31.83	6/7/00	492.8	457.6	31.23
4/18/00	789.6	352.8	46.98	6/9/00	540.0	281.6	57.68
4/19/00	907.2	470.4	29.30	6/11/00	540.0	504.0	24.25
4/20/00	721.6	426.4	35.92	6/13/00	993.6	515.2	22.57
5/2/00	426.4	656.0	1.41	6/15/00	288.0	259.2	61.04
5/3/00	459.2	492.0	26.06	6/17/00	504.0	306.0	54.01
5/4/00	800.0	416.0	37.48	6/19/00	432.0	313.2	52.93
5/5/00	544.0	224.0	66.34	6/21/00	336.0	248.6	62.63
5/6/00	896.0	192.0	71.14	6/22/00	668.0	248.6	62.63
5/7/00	608.0	480.0	27.86	6/23/00	480.0	194.9	70.71
5/8/00	739.2	672.0	-0.99	6/24/00	576.0	203.0	69.50
5/10/00	688.0	784.0	-17.83	6/25/00	756.0	194.9	70.71
5/11/00	590.4	528.0	20.65	6/28/00	436.8	197.2	70.36
5/12/00	688.8	918.4	-38.03	6/29/00	604.8	211.7	68.19
5/19/00	590.4	426.4	35.92	6/30/00	336.0	188.2	71.72
5/22/00	459.2	131.2	80.28	7/1/00	336.0	205.0	69.20
5/25/00	754.4	229.6	65.49	7/2/00	504.0	194.9	70.71
5/26/00	1344.0	256.0	61.53	7/3/00	504.0	205.0	69.20
5/27/00	608.0	320.0	51.91	7/4/00	470.4	191.5	71.22
5/29/00	1408.0	492.8	25.94	7/5/00	590.4	187.0	71.90
5/31/00	1302.4	422.4	36.52	7/6/00	492.0	177.1	73.38
6/3/00	1056.0	704.0	-5.80	7/7/00	623.2	196.8	70.42
				ค่าเฉลี่ย	562.14	195.43	70.63

ตารางที่ 7ข COD (mg/L) ที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ชูปฤาษีที่เวลากักเก็บน้ำ 15.5 วัน

เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
7/19/00	384.0	245.8	24.17	9/20/00	279.4	96.0	70.38
7/23/00	451.2	199.3	38.51	9/21/00	265.0	142.9	55.91
7/25/00	263.2	161.7	50.11	9/25/00	248.2	135.4	58.23
7/27/01	390.4	173.0	46.63	9/27/00	221.8	86.5	73.32
7/31/00	356.6	176.7	45.47	9/28/00	173.0	101.9	68.56
8/1/00	294.4	198.7	38.68	10/1/00	203.8	136.5	57.88
8/3/00	2304.0	30.7	90.52	10/2/00	176.4	145.0	55.26
8/5/00	396.0	230.4	28.91	10/3/01	146.7	105.8	67.35
8/8/00	288.0	208.8	35.57	10/5/00	145.0	90.2	72.17
8/10/00	571.2	232.6	28.24	10/7/00	260.5	180.5	44.30
8/15/01	350.4	276.0	14.84	10/9/00	499.0	122.9	62.08
8/20/00	320.0	280.0	13.60	10/14/00	261.0	96.0	70.38
8/21/00	340.9	264.0	18.54	10/15/00	314.9	207.4	36.00
8/22/00	360.0	280.0	13.60	10/16/00	215.0	172.8	46.68
8/25/00	360.0	172.0	46.93	10/17/00	184.3	184.3	43.13
8/26/00	308.0	156.0	51.86	10/18/00	268.7	188.2	41.93
8/27/00	412.0	168.0	48.16	10/19/00	291.8	145.9	54.98
8/28/00	372.4	172.5	46.78	10/20/00	176.0	132.0	59.27
8/29/00	321.4	160.7	50.41	10/27/00	264.0	140.0	56.80
8/30/00	415.5	168.6	47.99	10/28/00	216.0	153.6	52.60
9/1/00	388.1	180.3	44.36	10/29/00	168.0	140.0	56.80
9/2/00	301.8	172.5	46.78	10/30/00	232.0	149.8	53.78
9/7/00	408.0	143.0	55.88	10/31/00	320.0	140.0	56.80
9/8/00	257.0	106.1	67.26	11/1/00	227.4	145.0	55.25
9/10/00	286.0	126.5	60.97	11/2/00	247.1	149.0	54.02
9/11/00	176.6	111.4	65.63	11/3/00	266.6	157.9	51.28
9/12/00	172.8	99.8	69.21	11/5/00	258.7	152.9	52.82
9/13/00	188.2	107.5	66.82	11/6/00	278.9	152.9	52.82
9/15/00	234.2	80.6	75.13	11/7/01	331.9	152.9	52.82
9/16/00	319.4	107.5	66.83	11/8/00	412.6	159.1	50.90
9/17/00	325.4	129.4	60.07	11/9/00	356.4	148.0	54.33
9/18/00	211.7	113.7	64.92	11/10/00	375.4	156.0	51.86
9/19/00	250.9	107.5	66.83	ค่าเฉลี่ย	324.08	151.38	53.29

ตารางที่ 8ข COD (mg/L) ที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีที่เวลากักเก็บน้ำ 7.2 วัน

เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
11/20/00	358.3	165.6	53.16	12/11/00	359.0	148.1	58.11
11/22/00	356.4	173.0	51.07	12/12/00	293.3	170.3	51.83
11/24/00	342.9	228.2	35.46	12/13/00	398.6	180.5	48.95
11/27/00	325.6	188.0	46.83	12/14/00	449.0	170.4	51.81
11/29/00	331.0	203.0	42.59	12/15/00	372.3	179.0	49.37
12/1/00	325.3	186.6	47.22	12/16/00	361.9	168.2	52.43
12/3/00	337.6	172.8	51.13	12/17/00	369.3	152.4	56.90
12/4/00	402.7	183.6	48.07	12/18/00	306.1	169.3	52.12
12/5/00	388.0	198.6	43.83	12/19/00	313.4	174.2	50.73
12/6/00	337.9	184.2	47.90	12/20/00	398.1	169.3	52.12
12/7/00	294.6	209.8	40.66	12/21/00	343.5	169.3	52.12
12/8/00	374.6	186.6	47.22	12/22/00	317.1	172.8	51.13
12/9/00	359.0	186.6	47.22	12/23/00	356.2	165.6	53.16
12/10/00	374.6	150.6	57.41	ค่าเฉลี่ย	350.61	169.05	52.19

ตารางที่ 9ข COD (mg/L) ที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ชนิดไหลใต้ผิวดินที่เวลากักเก็บน้ำ 3.4 วัน

เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	เดือน/วัน/ปี	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
11/20/00	358.3	184.0	47.96	12/11/00	359.0	165.3	53.25
11/22/00	356.4	206.1	41.71	12/12/00	293.3	173.0	51.07
11/24/00	342.9	246.6	30.25	12/13/00	398.6	169.2	52.15
11/27/00	325.6	214.3	39.39	12/14/00	449.0	187.6	46.94
11/29/00	331.0	270.7	23.44	12/15/00	372.3	192.8	45.47
12/1/00	325.3	228.8	35.29	12/16/00	361.9	184.0	47.96
12/3/00	337.6	183.6	48.07	12/17/00	369.3	184.0	47.96
12/4/00	402.7	194.4	45.02	12/18/00	306.1	176.6	50.05
12/5/00	388.0	187.2	47.05	12/19/00	313.4	180.3	49.01
12/6/00	337.9	206.3	41.65	12/20/00	398.1	191.4	45.87
12/7/00	294.6	191.2	45.92	12/21/00	343.5	195.0	44.85
12/8/00	374.6	186.6	47.22	12/22/00	317.1	183.6	48.07
12/9/00	359.0	179.5	49.23	12/23/00	356.2	180.0	49.09
12/10/00	374.6	193.6	45.24	ค่าเฉลี่ย	350.61	185.53	47.53

ตารางที่ 10ข สรุปประสิทธิภาพพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	เวลากักเก็บน้ำ (วัน)	พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลม				พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ธูปฤาษี			
		27.7	15.5	6.3	3.7	26.9	15.5	7.2	4.3
pH	น้ำออก	7.07	6.96	6.98	7.12	7.06	7.04	6.94	6.95
DO (mg/L)	น้ำออก	6.2	5.2	5.1	5.5	6.1	5.6	5.3	5.4
อุณหภูมิ ($^{\circ}$C)	น้ำออก	31.2	31.4	29.8	30.4	31.2	30.5	29.9	30.3
COD (g/d)	น้ำเข้า	8.42	8.33	19.65	29.25	9.65	9.31	18.41	29.03
	น้ำออก	1.00	1.61	4.81	10.63	0.75	1.71	4.35	9.16
	% การกำจัด	88.1	80.6	74.9	63.5	92.2	81.6	76.3	68.3
BOD (g/d)	น้ำเข้า	3.23	3.32	7.53	12.08	3.702	3.58	7.38	11.61
	น้ำออก	0.415	0.642	1.878	4.064	0.311	0.693	1.695	3.818
	% การกำจัด	87.0	80.7	75.0	66.3	91.6	80.6	76.7	67.1
TSS (g/d)	น้ำเข้า	2.844	2.808	5.334	9.310	3.275	2.850	5.697	8.965
	น้ำออก	0.108	0.395	1.027	2.805	0.087	0.303	0.881	2.023
	% การกำจัด	95.5	85.8	80.5	69.7	97.4	88.9	84.4	77.0
TKN (g/d)	น้ำเข้า	0.719	0.810	1.630	3.374	0.825	1.070	1.747	2.758
	น้ำออก	0.040	0.105	0.314	0.962	0.037	0.113	0.288	0.688
	% การกำจัด	94.4	86.8	76.6	71.7	95.7	89.4	83.4	75.0
NO_3-N (g/d)	น้ำเข้า	0.022	0.043	0.101	0.137	0.026	0.041	0.087	0.136
	น้ำออก	0.006	0.015	0.046	0.077	0.004	0.014	0.034	0.067
	% การกำจัด	74.7	65.2	54.4	47.2	83.1	65.3	60.0	50.5
TP (g/d)	น้ำเข้า	0.920	2.410	4.682	8.564	1.058	2.358	4.857	7.651
	น้ำออก	0.219	0.778	2.162	5.178	0.199	0.869	2.147	4.140
	% การกำจัด	76.0	67.5	53.7	39.3	81.1	63.1	55.8	45.9
TDS (mg/L)	น้ำเข้า	1299	960	846	904	1299	920	897	897
	น้ำออก	1170	994	926	1020	1276	962	1047	1106
Total Coliform Bacteria ($\times 10^6$no./100mL)	น้ำเข้า	23.0	8.89	10.7	5.3	23.0	7.51	13.2	13.2
	น้ำออก	4.40	2.08	3.44	1.93	3.03	1.47	4.29	5.67
	% การกำจัด	80.8	76.0	67.0	59.0	85.1	80.8	55.6	52.3

ตารางที่ 11ข ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมที่เวลากักเก็บน้ำ 27.7 วัน

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	เดือน/วัน/ปี	อัตราการไหล,L/d		ความเข้มข้น (mg/L)			มวล (g/d)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
COD	7/5/00	15.2	5.7	590.4	193.5	67.2	8.974	1.103	87.7
	7/6/00	14.5	5.3	492.0	170.5	65.3	7.134	0.904	87.3
	7/7/00	14.7	5.6	623.2	177.1	71.6	9.161	0.992	89.2
	ค่าเฉลี่ย	14.8	5.5	568.5	180.4	68.1	8.423	1.000	88.1
BOD	7/5/00	15.2	5.7	220.7	75.1	66.0	3.354	0.428	87.2
	7/6/00	14.5	5.3	195.3	78.8	59.7	2.832	0.418	85.2
	7/7/00	14.7	5.6	238.1	71.3	70.0	3.500	0.399	88.6
	ค่าเฉลี่ย	14.8	5.5	218.0	75.0	65.2	3.229	0.415	87.0
TSS	7/5/00	15.2	5.7	118	24	79.7	1.794	0.137	92.4
	7/6/00	14.5	5.3	272	15	94.5	3.944	0.080	98.0
	7/7/00	14.7	5.6	190	19	90.0	2.793	0.106	96.2
	ค่าเฉลี่ย	14.8	5.5	193.3	19.3	88.1	2.844	0.108	95.5
TKN	7/5/00	15.2	5.7	52.2	6.6	87.4	0.793	0.038	95.2
	7/6/00	14.5	5.3	45.0	7.4	83.6	0.653	0.039	94.0
	7/7/00	14.7	5.6	48.3	7.6	84.3	0.710	0.043	93.9
	ค่าเฉลี่ย	14.8	5.5	48.5	7.2	85.1	0.719	0.040	94.4

ตารางที่ 11ข (ต่อ) ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมที่เวลากักเก็บน้ำ 27.7 วัน

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	เดือน/วัน/ปี	อัตราการไหล,L/d		ความเข้มข้น (mg/L ; no./100mL)			มวล (g/d)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
NO_3-N	7/5/00	15.2	5.7	1.522	1.029	32.4	0.023	0.006	73.9
	7/6/00	14.5	5.3	1.599	1.120	30.0	0.023	0.006	73.9
	7/7/00	14.7	5.6	1.405	0.964	31.4	0.021	0.005	76.2
	ค่าเฉลี่ย	14.8	5.5	1.509	1.038	31.3	0.022	0.006	74.7
TP	7/5/00	15.2	5.7	59.9	38.1	36.5	0.910	0.217	76.2
	7/6/00	14.5	5.3	68.1	37.6	44.8	0.988	0.199	79.6
	7/7/00	14.7	5.6	58.6	42.8	27.0	0.862	0.240	72.2
	ค่าเฉลี่ย	14.8	5.5	62.21	39.48	36.1	0.920	0.219	76.0
TDS	7/5/00	15.2	5.7	1380	1186	14.1	-	-	-
	7/6/00	14.5	5.3	1220	1172	3.9	-	-	-
	7/7/00	14.7	5.6	1298	1154	11.1	-	-	-
	ค่าเฉลี่ย	14.8	5.5	1299.3	1170.7	9.7	-	-	-
Total Coliform Bacteria	7/5/00	15.2	5.7	1.58E+07	1.60E+06	89.9	-	-	-
	7/6/00	14.5	5.3	3.01E+07	2.60E+06	91.4	-	-	-
	7/7/00	14.7	5.6	2.32E+07	9.00E+06	61.2	-	-	-
	ค่าเฉลี่ย	14.8	5.5	2.30E+07	4.40E+06	80.8	-	-	-

ตารางที่ 12ข ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ กกกลมที่เวลากักเก็บน้ำ 15.5 วัน

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	เดือน/วัน/ปี	อัตราการไหล,L/d		ความเข้มข้น (mg/L)			มวล (g/d)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
COD	12/6/00	25.2	12.1	337.9	130.0	61.5	8.515	1.573	81.5
	12/7/00	24.6	11.4	294.6	135.0	54.2	7.247	1.539	78.8
	12/8/00	24.2	12.6	374.6	133.5	64.4	9.065	1.682	81.4
	12/9/00	23.6	11.8	359.0	138.2	61.5	8.472	1.631	80.7
	ค่าเฉลี่ย	24.4	12.0	341.5	134.2	60.4	8.325	1.606	80.6
BOD	12/6/00	25.2	12.1	135.3	55.1	59.3	3.410	0.667	80.4
	12/7/00	24.6	11.4	134.0	51.3	61.7	3.296	0.585	82.3
	12/8/00	24.2	12.6	138.3	52.4	62.1	3.347	0.660	80.3
	12/9/00	23.6	11.8	136.9	55.4	59.5	3.231	0.654	79.8
	ค่าเฉลี่ย	24.4	12.0	136.1	53.6	60.7	3.321	0.642	80.7
TSS	12/6/00	25.2	12.1	128	32	75.0	3.226	0.387	88.0
	12/7/00	24.6	11.4	104	40	61.5	2.558	0.456	82.2
	12/8/00	24.2	12.6	112	36	67.9	2.710	0.454	83.2
	12/9/00	23.6	11.8	116	24	79.3	2.738	0.283	89.7
	ค่าเฉลี่ย	24.4	12.0	115	33	71.0	2.808	0.395	85.8
TKN	12/6/00	25.2	12.1	38.6	10.8	72.0	0.973	0.131	86.5
	12/7/00	24.6	11.4	36.9	8.9	75.9	0.908	0.101	88.9
	12/8/00	24.2	12.6	32.3	7.7	76.2	0.782	0.097	87.6
	12/9/00	23.6	11.8	24.4	7.7	68.4	0.576	0.091	84.2
	ค่าเฉลี่ย	24.4	12.0	33.1	8.8	73.1	0.810	0.105	86.8

ตารางที่ 12ข (ต่อ) ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมที่เวลากักเก็บน้ำ 15.5 วัน

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	เดือน/วัน/ปี	อัตราการไหล,L/d		ความเข้มข้น (mg/L ; no./100mL)			มวล (g/d)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
NO_3-N	12/6/00	25.2	12.1	1.679	1.198	28.6	0.042	0.014	66.7
	12/7/00	24.6	11.4	1.633	1.236	24.3	0.040	0.014	65.0
	12/8/00	24.2	12.6	1.856	1.366	26.4	0.045	0.017	62.2
	12/9/00	23.6	11.8	1.920	1.263	34.2	0.045	0.015	66.7
	ค่าเฉลี่ย	24.4	12.0	1.772	1.266	28.4	0.043	0.015	65.2
TP	12/6/00	25.2	12.1	106.7	65.0	39.1	2.689	0.787	70.7
	12/7/00	24.6	11.4	100.1	67.8	32.3	2.462	0.773	68.6
	12/8/00	24.2	12.6	96.5	61.5	36.3	2.335	0.775	66.8
	12/9/00	23.6	11.8	91.2	65.9	27.7	2.152	0.778	63.8
	ค่าเฉลี่ย	24.4	12.0	98.6	65.1	33.9	2.410	0.778	67.5
TDS	12/6/00	25.2	12.1	920	1055	-14.7	-	-	-
	12/7/00	24.6	11.4	925	985	-6.49	-	-	-
	12/8/00	24.2	12.6	1065	895	16.0	-	-	-
	12/9/00	23.6	11.8	930	1040	-11.8	-	-	-
	ค่าเฉลี่ย	24.4	12.0	960	993.8	-4.3	-	-	-
Total Coliform Bacteria	12/6/00	25.2	12.1	1.13E+07	2.30E+06	79.6	-	-	-
	12/7/00	24.6	11.4	7.80E+06	2.60E+06	66.7	-	-	-
	12/8/00	24.2	12.6	9.50E+06	1.70E+06	82.1	-	-	-
	12/9/00	23.6	11.8	6.95E+06	1.70E+06	75.5	-	-	-
	ค่าเฉลี่ย	24.4	12.0	8.89E+06	2.08E+06	76.0	-	-	-

ตารางที่ 13ข ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมที่เวลากักเก็บน้ำ 6.3 วัน

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	เดือน/วัน/ปี	อัตราการไหล,L/d		ความเข้มข้น (mg/L)			มวล (g/d)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
COD	12/24/00	52.6	34.5	328.2	147.2	55.1	17.263	5.078	70.6
	12/25/00	58.4	35.2	295.5	147.2	50.2	17.257	5.181	70.0
	12/26/00	54.7	32.1	357.6	139.8	60.9	19.561	4.488	77.1
	12/27/00	55.4	31.2	442.7	143.5	67.6	24.526	4.477	81.7
	ค่าเฉลี่ย	55.3	33.3	356.0	144.4	58.5	19.652	4.806	74.9
BOD	12/24/00	52.6	34.5	137.0	59.4	56.7	7.206	2.049	71.6
	12/25/00	58.4	35.2	141.5	57.5	59.4	8.261	2.024	75.5
	12/26/00	54.7	32.1	132.1	52.7	60.1	7.223	1.692	76.6
	12/27/00	55.4	31.2	134.0	55.9	58.3	7.425	1.745	76.5
	ค่าเฉลี่ย	55.3	33.3	136.2	56.4	58.6	7.529	1.878	75.0
TSS	12/24/00	52.6	34.5	104	28	73.1	5.470	0.966	82.3
	12/25/00	58.4	35.2	100	28	72.0	5.840	0.986	83.1
	12/26/00	54.7	32.1	84	36	57.1	4.595	1.156	74.8
	12/27/00	55.4	31.2	98	32	67.3	5.429	0.998	81.6
	ค่าเฉลี่ย	55.3	33.3	96.5	31	67.4	5.334	1.027	80.5
TKN	12/24/00	52.6	34.5	48.3	5.5	88.6	2.541	0.189	92.6
	12/25/00	58.4	35.2	19.1	16.6	13.1	1.114	0.586	47.4
	12/26/00	54.7	32.1	20.7	6.1	70.5	1.133	0.195	82.7
	12/27/00	55.4	31.2	31.3	9.1	70.9	1.732	0.285	83.5
	ค่าเฉลี่ย	55.3	33.3	29.9	9.3	60.8	1.630	0.314	76.6

ตารางที่ 13ข (ต่อ) ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมที่เวลากักเก็บน้ำ 6.3 วัน

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	เดือน/วัน/ปี	อัตราการไหล,L/d		ความเข้มข้น (mg/L ; no./100mL)			มวล (g/d)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
NO_3-N	12/24/00	52.6	34.5	1.910	1.366	28.5	0.100	0.047	53.1
	12/25/00	58.4	35.2	1.885	1.353	28.2	0.110	0.048	56.7
	12/26/00	54.7	32.1	1.675	1.459	12.9	0.092	0.047	48.9
	12/27/00	55.4	31.2	1.802	1.314	27.1	0.100	0.041	58.9
	ค่าเฉลี่ย	55.3	33.3	1.818	1.373	24.2	0.101	0.046	54.4
TP	12/24/00	52.6	34.5	88.2	62.1	29.6	4.641	2.142	53.8
	12/25/00	58.4	35.2	81.7	67.2	17.7	4.772	2.364	50.5
	12/26/00	54.7	32.1	79.2	65.9	16.8	4.332	2.115	51.2
	12/27/00	55.4	31.2	89.9	65.0	27.7	4.983	2.026	59.3
	ค่าเฉลี่ย	55.3	33.3	84.8	65.1	23.0	4.682	2.162	53.7
TDS	12/24/00	52.6	34.5	820	865	-5.5	-	-	-
	12/25/00	58.4	35.2	850	870	-2.4	-	-	-
	12/26/00	54.7	32.1	810	885	-9.3	-	-	-
	12/27/00	55.4	31.2	905	1085	-19.9	-	-	-
	ค่าเฉลี่ย	55.3	33.3	846.3	926.3	-9.3	-	-	-
Total Coliform Bacteria	12/24/00	52.6	34.5	9.08E+06	2.79E+06	69.3	-	-	-
	12/25/00	58.4	35.2	9.14E+06	4.21E+06	53.9	-	-	-
	12/26/00	54.7	32.1	1.10E+07	3.18E+06	71.0	-	-	-
	12/27/00	55.4	31.2	1.36E+07	3.57E+06	73.8	-	-	-
	ค่าเฉลี่ย	55.3	33.3	1.07E+07	3.44E+06	67.0	-	-	-

ตารางที่ 14ข ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมที่เวลากักเก็บน้ำ 3.7 วัน

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	เดือน/วัน/ปี	อัตราการไหล,L/d		ความเข้มข้น (mg/L)			มวล (g/d)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
COD	11/30/00	88.3	62.5	300.8	165.4	45.0	26.561	10.338	61.1
	12/1/00	90.5	68.3	325.3	169.2	48.0	29.440	11.556	60.7
	12/2/00	87.9	65.1	367.3	161.9	55.9	32.286	10.540	67.4
	12/3/00	85.1	60.9	337.6	165.6	50.9	28.730	10.085	64.9
	ค่าเฉลี่ย	88.0	64.2	332.8	165.5	50.0	29.254	10.630	63.5
BOD	11/30/00	88.3	62.5	129.9	67.0	48.4	11.470	4.188	63.8
	12/1/00	90.5	68.3	132.9	63.3	52.4	12.027	4.323	64.0
	12/2/00	87.9	65.1	148.5	60.5	59.3	13.053	3.939	69.8
	12/3/00	85.1	60.9	138.4	62.5	54.8	11.778	3.806	67.7
	ค่าเฉลี่ย	88.0	64.2	137.4	63.3	53.7	12.082	4.064	66.3
TSS	11/30/00	88.3	62.5	108	48	55.6	9.536	3.000	68.5
	12/1/00	90.5	68.3	96	44	54.2	8.688	3.005	65.4
	12/2/00	87.9	65.1	104	40	61.5	9.142	2.604	71.5
	12/3/00	85.1	60.9	116	43	62.9	9.872	2.612	73.5
	ค่าเฉลี่ย	88.0	64.2	106	43.8	58.6	9.310	2.805	69.7
TKN	11/30/00	88.3	62.5	41.8	23.9	42.8	3.693	1.496	59.5
	12/1/00	90.5	68.3	37.8	11.0	70.9	3.417	0.749	78.1
	12/2/00	87.9	65.1	34.5	15.3	55.7	3.033	0.998	67.1
	12/3/00	85.1	60.9	39.4	9.9	74.9	3.351	0.606	81.9
	ค่าเฉลี่ย	88.0	64.2	38.4	15.0	61.1	3.374	0.962	71.7

ตารางที่ 14ข (ต่อ) ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลมที่เวลากักเก็บน้ำ 3.7 วัน

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	เดือน/วัน/ปี	อัตราการไหล,L/d		ความเข้มข้น (mg/L ; no./100mL)			มวล (g/d)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
NO_3-N	11/30/00	88.3	62.5	1.677	1.068	36.3	0.148	0.067	54.9
	12/1/00	90.5	68.3	1.586	1.172	26.1	0.144	0.080	44.3
	12/2/00	87.9	65.1	1.547	0.991	35.9	0.136	0.064	52.6
	12/3/00	85.1	60.9	1.612	1.418	12.0	0.136	0.086	37.1
	ค่าเฉลี่ย	88.0	64.2	1.606	1.162	27.6	0.141	0.074	47.2
TP	11/30/00	88.3	62.5	99.4	75.6	23.9	8.781	4.728	46.2
	12/1/00	90.5	68.3	94.7	84.0	11.3	8.570	5.734	33.1
	12/2/00	87.9	65.1	104.0	77.6	25.4	9.141	5.052	44.7
	12/3/00	85.1	60.9	91.2	85.3	6.5	7.762	5.196	33.1
	ค่าเฉลี่ย	88.0	64.2	97.3	80.6	16.8	8.564	5.178	39.3
TDS	11/30/00	88.3	62.5	915	1020	-11.5	-	-	-
	12/1/00	90.5	68.3	895	1040	-16.2	-	-	-
	12/2/00	87.9	65.1	870	990	-13.8	-	-	-
	12/3/00	85.1	60.9	935	1030	-10.2	-	-	-
	ค่าเฉลี่ย	88.0	64.2	903.8	1020	-12.9	-	-	-
Total Coliform Bacteria	11/30/00	88.3	62.5	7.20E+06	2.30E+06	68.1	-	-	-
	12/1/00	90.5	68.3	6.00E+06	2.00E+06	66.7	-	-	-
	12/2/00	87.9	65.1	2.30E+06	1.50E+06	34.8	-	-	-
	12/3/00	85.1	60.9	5.70E+06	1.90E+06	66.7	-	-	-
	ค่าเฉลี่ย	88.0	64.2	5.30E+06	1.93E+06	59.0	-	-	-

ตารางที่ 15ข ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีที่เวลากักเก็บน้ำ 26.9 วัน

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	เดือน/วัน/ปี	อัตราการไหล,L/d		ความเข้มข้น (mg/L)			มวล (g/d)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
COD	7/5/00	17.6	4.4	590.4	187.0	68.3	10.391	0.823	92.1
	7/6/00	17.1	3.9	492.0	177.1	64.0	8.413	0.691	91.8
	7/7/00	16.3	3.7	623.2	196.8	68.4	10.158	0.728	92.8
	ค่าเฉลี่ย	17.0	4.0	568.5	187.0	66.9	9.654	0.747	92.2
BOD	7/5/00	17.6	4.4	220.7	76.6	65.3	3.884	0.337	91.3
	7/6/00	17.1	3.9	195.3	77.3	60.4	3.340	0.301	91.0
	7/7/00	16.3	3.7	238.1	79.9	66.4	3.881	0.296	92.4
	ค่าเฉลี่ย	17.0	4.0	218.0	77.9	64.0	3.702	0.311	91.6
TSS	7/5/00	17.6	4.4	118	11	90.7	2.077	0.048	97.7
	7/6/00	17.1	3.9	272	37	86.4	4.651	0.144	96.9
	7/7/00	16.3	3.7	190	19	90.0	3.097	0.070	97.7
	ค่าเฉลี่ย	17.0	4.0	193.3	22.3	89.0	3.275	0.087	97.4
TKN	7/5/00	17.6	4.4	52.2	13.0	75.1	0.919	0.057	93.8
	7/6/00	17.1	3.9	45.0	7.0	84.4	0.770	0.027	96.5
	7/7/00	16.3	3.7	48.3	7.0	85.5	0.787	0.026	96.7
	ค่าเฉลี่ย	17.0	4.0	48.5	9.0	81.7	0.825	0.037	95.7

ตารางที่ 15ข (ต่อ) ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีที่เวลากักเก็บน้ำ 26.9 วัน

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	เดือน/วัน/ปี	อัตราการไหล,L/d		ความเข้มข้น (mg/L ; no./100mL)			มวล (g/d)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
NO_3-N	7/5/00	17.6	4.4	1.522	1.146	24.7	0.027	0.005	81.5
	7/6/00	17.1	3.9	1.599	1.094	31.6	0.027	0.004	85.2
	7/7/00	16.3	3.7	1.405	1.146	18.4	0.023	0.004	82.6
	ค่าเฉลี่ย	17.0	4.0	1.509	1.129	24.9	0.026	0.004	83.1
TP	7/5/00	17.6	4.4	59.9	48.8	18.5	1.054	0.215	79.6
	7/6/00	17.1	3.9	68.1	52.6	22.8	1.165	0.205	82.4
	7/7/00	16.3	3.7	58.6	48.0	18.1	0.955	0.178	81.4
	ค่าเฉลี่ย	17.0	4.0	62.2	49.8	19.8	1.058	0.199	81.1
TDS	7/5/00	17.6	4.4	1380	1382	-0.1	-	-	-
	7/6/00	17.1	3.9	1220	1332	-9.2	-	-	-
	7/7/00	16.3	3.7	1298	1116	14.0	-	-	-
	ค่าเฉลี่ย	17.0	4.0	1299.3	1276.7	1.6	-	-	-
Total Coliform Bacteria	7/5/00	17.6	4.4	1.58E+07	3.50E+06	77.8	-	-	-
	7/6/00	17.1	3.9	3.01E+07	1.60E+06	94.7	-	-	-
	7/7/00	16.3	3.7	2.32E+07	4.00E+06	82.8	-	-	-
	ค่าเฉลี่ย	17.0	4.0	2.30E+07	3.03E+06	85.1	-	-	-

ตารางที่ 16ข ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ชนิดไหลใต้ผิวดินที่เวลากักเก็บน้ำ 15.5 วัน

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	เดือน/วัน/ปี	อัตราการไหล,L/d		ความเข้มข้น (mg/L)			มวล (g/d)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
COD	11/7/00	25.6	11.5	331.9	152.9	53.9	8.497	1.758	79.3
	11/8/00	26.7	12.3	412.6	159.1	61.4	11.016	1.957	82.2
	11/9/00	25.1	11.0	356.4	148.0	58.5	8.946	1.628	81.8
	11/10/00	23.4	9.6	375.4	156.0	58.4	8.784	1.498	82.9
	ค่าเฉลี่ย	25.2	11.1	369.1	154.0	58.1	9.311	1.710	81.6
BOD	11/7/00	25.6	11.5	136.7	77.9	43.0	3.500	0.896	74.4
	11/8/00	26.7	12.3	141.9	62.9	55.7	3.789	0.774	79.6
	11/9/00	25.1	11.0	138.0	53.2	61.4	3.464	0.585	83.1
	11/10/00	23.4	9.6	151.5	53.9	64.4	3.545	0.517	85.4
	ค่าเฉลี่ย	25.2	11.1	142.0	62.0	56.1	3.575	0.693	80.6
TSS	11/7/00	25.6	11.5	112	27	75.9	2.867	0.311	89.2
	11/8/00	26.7	12.3	136	20	85.3	3.631	0.246	93.2
	11/9/00	25.1	11.0	104	28	73.1	2.610	0.308	88.2
	11/10/00	23.4	9.6	98	36	63.3	2.293	0.346	84.9
	ค่าเฉลี่ย	25.2	11.1	112.5	27.8	74.4	2.850	0.303	88.9
TKN	11/7/00	25.6	11.5	43.3	10.8	75.1	1.108	0.124	88.8
	11/8/00	26.7	12.3	32.3	8.8	72.8	0.862	0.108	87.5
	11/9/00	25.1	11.0	48.2	10.4	78.4	1.210	0.114	90.6
	11/10/00	23.4	9.6	47.0	10.8	77.0	1.100	0.104	90.5
	ค่าเฉลี่ย	25.2	11.1	42.7	10.2	75.8	1.070	0.113	89.4

ตารางที่ 16ข (ต่อ) ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีที่เวลากักเก็บน้ำ 15.5 วัน

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	เดือน/วัน/ปี	อัตราการไหล,L/d		ความเข้มข้น (mg/L ; no./100mL)			มวล (g/d)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
NO_3-N	11/7/00	25.6	11.5	1.483	1.198	19.2	0.038	0.014	63.2
	11/8/00	26.7	12.3	1.781	1.185	33.5	0.048	0.015	68.8
	11/9/00	25.1	11.0	1.514	1.275	15.8	0.038	0.014	63.2
	11/10/00	23.4	9.6	1.612	1.327	17.7	0.038	0.013	65.8
	ค่าเฉลี่ย	25.2	11.1	1.598	1.246	21.6	0.041	0.014	65.3
TP	11/7/00	25.6	11.5	96.6	70.0	27.5	2.473	0.805	67.4
	11/8/00	26.7	12.3	86.2	76.3	11.5	2.302	0.938	59.3
	11/9/00	25.1	11.0	98.2	83.3	15.2	2.465	0.916	62.8
	11/10/00	23.4	9.6	93.7	85.2	9.1	2.193	0.818	62.7
	ค่าเฉลี่ย	25.2	11.1	93.7	78.7	15.8	2.358	0.869	63.1
TDS	11/7/00	25.6	11.5	910	940	-3.3	-	-	-
	11/8/00	26.7	12.3	865	1030	-19.1	-	-	-
	11/9/00	25.1	11.0	930	920	1.1	-	-	-
	11/10/00	23.4	9.6	975	960	1.5	-	-	-
	ค่าเฉลี่ย	25.2	11.1	920	962.5	-5.0	-	-	-
Total Coliform Bacteria	11/7/00	25.6	11.5	7.10E+06	9.86E+05	86.1	-	-	-
	11/8/00	26.7	12.3	8.10E+06	1.60E+06	80.2	-	-	-
	11/9/00	25.1	11.0	6.30E+06	1.10E+06	82.5	-	-	-
	11/10/00	23.4	9.6	8.54E+06	2.20E+06	74.2	-	-	-
	ค่าเฉลี่ย	25.2	11.1	7.51E+06	1.47E+06	80.8	-	-	-

ตารางที่ 17ข ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ชนิดไหลใต้ผิวดินที่เวลากักเก็บน้ำ 7.2 วัน

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	เดือน/วัน/ปี	อัตราการไหล,L/d		ความเข้มข้น (mg/L)			มวล (g/d)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
COD	12/20/00	51.0	25.0	398.1	169.3	57.5	20.303	4.233	79.2
	12/21/00	56.5	26.7	343.5	169.3	50.7	19.408	4.520	76.7
	12/22/00	53.2	26.1	317.1	172.8	45.5	16.870	4.510	73.3
	12/23/00	47.9	24.9	356.2	165.6	53.5	17.062	4.123	75.8
	ค่าเฉลี่ย	52.2	25.7	353.7	169.3	51.8	18.411	4.347	76.3
BOD	12/20/00	51.0	25.0	147.0	69.3	52.9	7.497	1.733	76.9
	12/21/00	56.5	26.7	151.5	62.7	58.6	8.560	1.674	80.4
	12/22/00	53.2	26.1	132.1	61.9	53.1	7.028	1.616	77.0
	12/23/00	47.9	24.9	134.0	70.6	47.3	6.419	1.758	72.6
	ค่าเฉลี่ย	52.2	25.7	141.2	66.1	53.0	7.376	1.695	76.7
TSS	12/20/00	51.0	25.0	132	36	72.7	6.732	0.900	86.6
	12/21/00	56.5	26.7	112	38	66.1	6.328	1.015	84.0
	12/22/00	53.2	26.1	100	34	66.0	5.320	0.887	83.3
	12/23/00	47.9	24.9	92	29	68.5	4.407	0.722	83.6
	ค่าเฉลี่ย	52.2	25.7	109	34.3	68.3	5.697	0.881	84.4
TKN	12/20/00	51.0	25.0	29.6	12.0	59.5	1.510	0.300	80.1
	12/21/00	56.5	26.7	31.5	11.4	63.8	1.780	0.304	82.9
	12/22/00	53.2	26.1	34.4	10.8	68.6	1.830	0.282	84.6
	12/23/00	47.9	24.9	39.0	10.6	72.8	1.868	0.264	85.9
	ค่าเฉลี่ย	52.2	25.7	33.6	11.2	66.2	1.747	0.288	83.4

ตารางที่ 17ข (ต่อ) ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีที่เวลากักเก็บน้ำ 7.2 วัน

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	เดือน/วัน/ปี	อัตราการไหล,L/d		ความเข้มข้น (mg/L ; no./100mL)			มวล (g/d)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
NO_3-N	12/20/00	51.0	25.0	1.546	1.211	21.7	0.079	0.030	62.0
	12/21/00	56.5	26.7	1.674	1.241	25.9	0.095	0.033	65.3
	12/22/00	53.2	26.1	1.789	1.426	20.3	0.095	0.037	61.1
	12/23/00	47.9	24.9	1.599	1.392	12.9	0.077	0.035	51.5
	ค่าเฉลี่ย	52.2	25.7	1.652	1.318	20.2	0.087	0.034	60.0
TP	12/20/00	51.0	25.0	96.5	81.7	15.3	4.922	2.043	58.5
	12/21/00	56.5	26.7	91.4	86.9	4.9	5.164	2.320	55.1
	12/22/00	53.2	26.1	93.0	85.3	8.3	4.948	2.226	55.0
	12/23/00	47.9	24.9	91.7	80.3	12.4	4.392	1.999	54.5
	ค่าเฉลี่ย	52.2	25.7	93.2	83.6	10.2	4.857	2.147	55.8
TDS	12/20/00	51.0	25.0	870	1075	-23.6	-	-	-
	12/21/00	56.5	26.7	895	1140	-27.4	-	-	-
	12/22/00	53.2	26.1	970	1035	-6.7	-	-	-
	12/23/00	47.9	24.9	855	940	-9.9	-	-	-
	ค่าเฉลี่ย	52.2	25.7	897.5	1047.5	-16.9	-	-	-
Total Coliform Bacteria	12/20/00	51.0	25.0	7.02E+06	5.32E+06	24.2	-	-	-
	12/21/00	56.5	26.7	1.24E+07	5.32E+06	57.2	-	-	-
	12/22/00	53.2	26.1	8.52E+06	4.26E+06	50.0	-	-	-
	12/23/00	47.9	24.9	2.48E+07	2.24E+06	91.0	-	-	-
	ค่าเฉลี่ย	52.2	25.7	1.32E+07	4.29E+06	55.6	-	-	-

ตารางที่ 18ข ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ชนิดไหลใต้ผิวดินที่เวลากักเก็บน้ำ 4.3 วัน

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	เดือน/วัน/ปี	อัตราการไหล,L/d		ความเข้มข้น (mg/L)			มวล (g/d)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
COD	12/20/00	81.0	47.8	398.1	191.4	51.9	32.246	9.149	71.6
	12/21/00	85.6	50.6	343.5	195.0	43.2	29.404	9.867	66.4
	12/22/00	83.2	50.3	317.1	183.6	42.1	26.383	9.235	65.0
	12/23/00	78.9	46.7	356.2	180.0	49.5	28.104	8.406	70.1
	ค่าเฉลี่ย	82.2	48.9	353.7	187.5	46.7	29.034	9.164	68.3
BOD	12/20/00	81.0	47.8	147.0	79.7	45.8	11.907	3.810	68.0
	12/21/00	85.6	50.6	151.5	82.6	45.5	12.968	4.180	67.8
	12/22/00	83.2	50.3	132.1	75.6	42.8	10.991	3.803	65.4
	12/23/00	78.9	46.7	134.0	74.5	44.4	10.573	3.479	67.1
	ค่าเฉลี่ย	82.2	48.9	141.2	78.1	44.6	11.610	3.818	67.1
TSS	12/20/00	81.0	47.8	132	44	66.7	10.692	2.103	80.3
	12/21/00	85.6	50.6	112	40	64.3	9.587	2.024	78.9
	12/22/00	83.2	50.3	100	37	63.0	8.320	1.861	77.6
	12/23/00	78.9	46.7	92	45	51.1	7.259	2.102	71.0
	ค่าเฉลี่ย	82.2	48.9	109	41.5	61.3	8.965	2.023	77.0
TKN	12/20/00	81.0	47.8	29.6	12.4	58.1	2.398	0.593	75.3
	12/21/00	85.6	50.6	31.5	16.0	49.2	2.696	0.810	70.0
	12/22/00	83.2	50.3	34.4	13.6	60.5	2.862	0.684	76.1
	12/23/00	78.9	46.7	39.0	14.2	63.6	3.077	0.663	78.5
	ค่าเฉลี่ย	82.2	48.9	33.6	14.1	57.9	2.758	0.688	75.0

ตารางที่ 18ข (ต่อ) ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษีที่เวลากักเก็บน้ำ 4.3 วัน

ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	เดือน/วัน/ปี	อัตราการไหล,L/d		ความเข้มข้น (mg/L ; no./100mL)			มวล (g/d)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	% การกำจัด
NO_3-N	12/20/00	81.0	47.8	1.546	1.340	13.3	0.125	0.064	48.8
	12/21/00	85.6	50.6	1.674	1.405	16.1	0.143	0.071	50.3
	12/22/00	83.2	50.3	1.789	1.263	29.4	0.149	0.064	57.0
	12/23/00	78.9	46.7	1.599	1.457	8.9	0.126	0.068	46.0
	ค่าเฉลี่ย	82.2	48.9	1.652	1.366	16.9	0.136	0.067	50.5
TP	12/20/00	81.0	47.8	96.5	81.8	15.2	7.817	3.910	50.0
	12/21/00	85.6	50.6	91.4	88.8	2.8	7.824	4.493	42.6
	12/22/00	83.2	50.3	93.0	86.0	7.5	7.728	4.326	44.0
	12/23/00	78.9	46.7	91.7	82.0	10.6	7.235	3.829	47.1
	ค่าเฉลี่ย	82.2	48.9	93.2	84.7	9.0	7.651	4.140	45.9
TDS	12/20/00	81.0	47.8	870	1340	-54.0	-	-	-
	12/21/00	85.6	50.6	895	1075	-20.1	-	-	-
	12/22/00	83.2	50.3	970	1060	-9.3	-	-	-
	12/23/00	78.9	46.7	855	950	-11.1	-	-	-
	ค่าเฉลี่ย	82.2	48.9	897.5	1106.3	-23.6	-	-	-
Total Coliform Bacteria	12/20/00	81.0	47.8	7.02E+06	3.60E+06	48.7	-	-	-
	12/21/00	85.6	50.6	1.24E+07	6.36E+06	48.8	-	-	-
	12/22/00	83.2	50.3	8.52E+06	4.80E+06	43.7	-	-	-
	12/23/00	78.9	46.7	2.48E+07	7.92E+06	68.1	-	-	-
	ค่าเฉลี่ย	82.2	48.9	1.32E+07	5.67E+06	52.3	-	-	-

ตารางที่ 19ข ผลการวิเคราะห์พืชและดินในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

ชนิดพืช	เวลากักเก็บน้ำ (วัน)	จำนวนต้น (ต้น)	ความหนาแน่น (ต้น/ m^2)	น้ำหนักพืชทั้งหมด (kg)	ผลผลิตพืชทั้งหมด (kg dry wt)	อัตราผลผลิตพืช ($g/m^2/d$)	สารอินทรีย์ในดิน (g/g dry wt)
กกกลม	27.7	280	448	7.5	1.10	17	0.0015
	15.5	270	432	6.5	1.07	15	0.0028
	6.3	328	525	9.3	1.27	20	0.0038
	3.7	430	688	12.9	1.75	26	0.0039
ธูปฤาษี	26.9	49	78	5.0	1.07	21	-
	15.5	58	93	6.0	0.94	13	-
	7.2	32	51	1.8	0.22	10	0.0049
	4.3	45	72	3.8	0.52	17	0.005

หมายเหตุ - น้ำหนักพืชทั้งหมด, ผลผลิตพืชทั้งหมด และอัตราผลผลิตพืช คำนวณจากปริมาณผลผลิตพืชเหนือผิวน้ำ 10 cm

- ไม่ได้ทำการศึกษา

ตารางที่ 20ข ผลการวิเคราะห์ N และ P ในผลผลิตพืชที่ตัดออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

ชนิดพืช	เวลากักเก็บน้ำ (วัน)	น้ำเข้า ($g/m^2 \cdot d$)		อัตราผลผลิต ($g/m^2/d$)	N ในผลผลิตพืชที่ตัดออก		P ในผลผลิตพืชที่ตัดออก	
		TN	TP		ปริมาณ N ($g/m^2 \cdot d$)	% N เทียบกับ TN น้ำเข้า	ปริมาณ P ($g/m^2 \cdot d$)	% P เทียบกับ TP น้ำเข้า
กกกลม	27.7	1.186	1.472	17	0.136	11.47	0.007	1.15
	15.5	1.365	3.856	15	0.120	8.79	0.015	0.39
	6.3	2.770	7.491	20	0.160	5.78	0.020	0.27
	3.7	5.618	13.824	26	0.208	3.70	0.026	0.19
ธูปฤาษี	26.9	1.362	1.693	21	0.105	7.71	0.011	0.62
	15.5	1.778	3.773	13	0.065	3.66	0.007	0.17
	7.2	2.934	7.771	10	0.050	1.70	0.005	0.06
	4.3	4.630	12.242	17	0.085	1.84	0.009	0.07

หมายเหตุ - ปริมาณ N และ P ในผลผลิตพืชที่ตัดออก คำนวณจากปริมาณ N และ P ที่น้อยที่สุดในส่วนประกอบของเนื้อเยื่อกกกลมและธูปฤาษี ซึ่งมีช่วงค่าปริมาณ N 8-27 g/kg และ 5-24 g/kg สำหรับกกกลมและธูปฤาษี ตามลำดับ ปริมาณ P มีช่วงค่า 1.0-3.0 g/kg และ 0.5-4.0 g/kg สำหรับกกกลมและธูปฤาษี ตามลำดับ (Reddy and DeBUSK, 1987)

ภาคผนวก ค.

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS

ค.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS โดยวิธี Two-Way ANOVA โดยมีชนิดพืชและเวลากักเก็บน้ำเป็นตัวแปร

ตารางที่ 1ค ผลการทดสอบความแปรปรวนของ COD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power[a]
Corrected Model	2245.665[b]	7	320.809	38.072	0.000	266.507	1.000
Intercept	180490.44	1	180490.44	21419.92	0.000	21419.923	1.000
PLANT	58.587	1	58.587	6.953	0.015	6.953	0.712
HRT	2168.773	3	722.924	85.794	0.000	257.382	1.000
PLANT * HRT	21.131	3	7.044	0.836	0.489	2.508	0.201
Error	185.378	22	8.426				
Total	182014.55	30					
Corrected Total	2431.043	29					

a Computed using alpha = 0.05

b R Squared = 0.924 (Adjusted R Squared = 0.899)

ตารางที่ 2ค ผลการทดสอบความแปรปรวนของ BOD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power[a]
Corrected Model	1904.680[b]	7	272.097	38.263	0.000	267.842	1.000
Intercept	180326.925	1	180326.93	25358.11	0.000	25358.113	1.000
HRT	1866.651	3	622.217	87.498	0.000	262.494	1.000
PLANT	22.080	1	22.080	3.105	0.092	3.105	0.392
HRT * PLANT	20.242	3	6.747	0.949	0.434	2.847	0.224
Error	156.447	22	7.111				
Total	181737.490	30					
Corrected Total	2061.127	29					

a Computed using alpha = 0.05

b R Squared = 0.924 (Adjusted R Squared = 0.900)

ตารางที่ 3ค ผลการทดสอบความแปรปรวนของ TSS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power[a]
Corrected Model	2112.558[b]	7	301.794	28.792	0.000	201.542	1.000
Intercept	212861.283	1	212861.28	20307.37	0.000	20307.374	1.000
PLANT	120.380	1	120.380	11.484	0.003	11.484	0.899
HRT	1952.711	3	650.904	62.097	0.000	186.292	1.000
PLANT * HRT	28.805	3	9.602	0.916	0.449	2.748	0.218
Error	230.603	22	10.482				
Total	214611.570	30					
Corrected Total	2343.162	29					

a Computed using alpha = 0.05

b R Squared = 0.902 (Adjusted R Squared = 0.870)

ตารางที่ 4ค ผลการทดสอบความแปรปรวนของ TKN

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power[a]
Corrected Model	2023.891[b]	7	289.127	3.999	0.006	27.993	0.936
Intercept	208878.525	1	208878.53	2889.020	0.000	2889.020	1.000
PLANT	90.462	1	90.462	1.251	0.275	1.251	0.188
HRT	1893.079	3	631.026	8.728	0.001	26.183	0.984
PLANT * HRT	31.076	3	10.359	0.143	0.933	0.430	0.072
Error	1590.618	22	72.301				
Total	212097.870	30					
Corrected Total	3614.510	29					

a Computed using alpha = 0.05

b R Squared = 0.560 (Adjusted R Squared = 0.420)

ตารางที่ 5ค ผลการทดสอบความแปรปรวนของ NO_3-N

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power[a]
Corrected Model	4137.421[b]	7	591.060	11.776	0.000	82.432	1.000
Intercept	113393.282	1	113393.28	2259.195	0.000	2259.195	1.000
PLANT	224.062	1	224.062	4.464	0.046	4.464	0.524
HRT	3842.947	3	1280.982	25.522	0.000	76.565	1.000
PLANT * HRT	82.738	3	27.579	0.549	0.654	1.648	0.144
Error	1104.222	22	50.192				
Total	116250.310	30					
Corrected Total	5241.643	29					

a Computed using alpha = 0.05

b R Squared = 0.789 (Adjusted R Squared = 0.722)

ตารางที่ 6ค ผลการทดสอบความแปรปรวนของ TP

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power[a]
Corrected Model	5083.492[b]	7	726.213	47.745	0.000	334.214	1.000
Intercept	107374.82	1	107374.82	7059.348	0.000	7059.348	1.000
PLANT	41.071	1	41.071	2.700	0.115	2.700	0.349
HRT	4907.748	3	1635.916	107.553	0.000	322.659	1.000
PLANT * HRT	140.319	3	46.773	3.075	0.049	9.225	0.637
Error	334.627	22	15.210				
Total	110107.880	30					
Corrected Total	5418.119	29					

a Computed using alpha = 0.05

b R Squared = 0.938 (Adjusted R Squared = 0.919)

ตารางที่ 7ค ผลการทดสอบความแปรปรวน Total Coliform Bacteria

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power[a]
Corrected Model	4182.168	7	597.453	2.864	0.028	20.046	0.815
Intercept	143016.231	1	143016.231	685.502	0.000	685.502	1.000
PLANT	38.290	1	38.290	0.184	0.673	0.184	0.069
HRT	3758.215	3	1252.738	6.005	0.004	18.014	0.918
PLANT * HRT	368.737	3	122.912	0.589	0.629	1.767	0.152
Error	4589.859	22	208.630				
Total	150321.510	30					
Corrected Total	8772.027	29					

a Computed using alpha = 0.05

b R Squared = 0.477 (Adjusted R Squared = 0.310)

ค.2 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS โดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น

ค.2 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น (Liner Regression Analysis)

เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ที่ความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงเส้น ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการเชิงเส้นดังนี้

$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_I$; i= 1,2,….,N

โดยที่ Y คือ ตัวแปรตาม (Dependent Variable) เนื่องจากค่าของ Y ขึ้นอยู่กับค่าของ X

X = ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

β_0 = ส่วนตัดแกน Y หรือ คือค่าของ Y เมื่อ X มีค่าเป็นศูนย์

e = ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม (random error)

β_1 = ความชัน (slope) ของเส้นตรง

การที่จะหาค่า β_0 และ β_1 ได้ จำเป็นต้องทราบค่า X และ Y ทุกค่าที่เกิดขึ้นแล้ว ซึ่งเป็นไปได้ยาก ในทางปฏิบัติจึงใช้ข้อมูลตัวอย่างขนาด n ในการประมาณค่า β_0 และ β_1 ดังนั้นค่าประมาณของ Y คือ

$Y_i = a + bX_i$ สมการที่ (ค.1)

โดยที่ $\beta_0 = a$, $\beta_1 = b$

การทดสอบว่า สมการที่ (ค.1) เป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y จริงหรือไม่จะต้องทดสอบสมมติฐาน

$H_0 : \beta_1 = 0$ หรือ H_0 : Y ไม่มีความสัมพันธ์กับ X ในรูปเชิงเส้น

$H_1 : \beta_1 \neq 0$ หรือ H_1 : Y มีความสัมพันธ์กับ X ในรูปเชิงเส้น

สถิติที่ใช้ในการทดสอบ คือ

1. F-test จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (1-Way ANOVA)

และ 2. T-test

ค.2.1 การทดสอบอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับต่างๆ

เมื่อ C = ความเข้มข้น BOD ที่เวลาใด ๆ, mg/L

C = ความเข้มข้น BOD ที่เวลาเริ่มต้น, mg/L

k = ค่าคงที่ปฏิกิริยาขึ้นกับอุณหภูมิ, 1/d

t = เวลากักเก็บน้ำ, วัน

1. การทดสอบอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์

จาก $-\frac{dC}{dt} = k$

เมื่อแก้สมการจะได้

$$C_0 - C = kt$$

2. การทดสอบอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

จาก $-\frac{dC}{dt} = kC$

เมื่อแก้สมการจะได้

$$\ln[C/C_0] = -kt$$

3. การทดสอบอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง

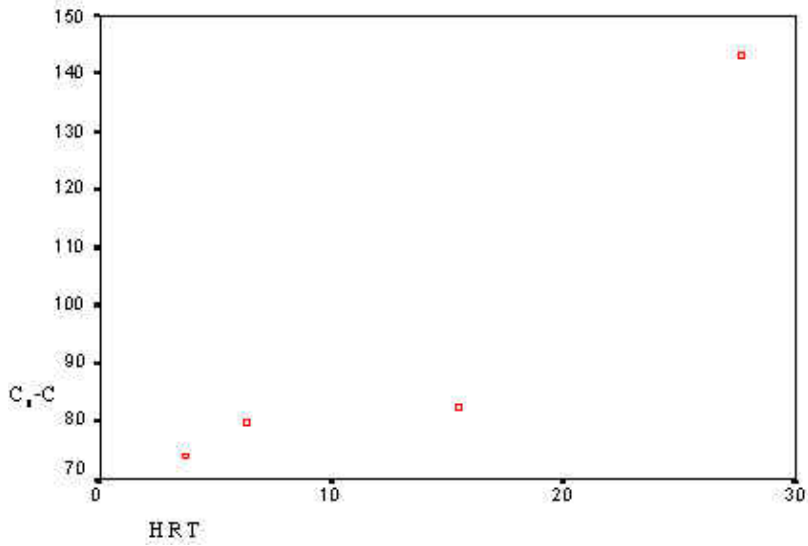
จาก $-\frac{dC}{dt} = kC^2$

เมื่อแก้สมการจะได้

$$\frac{1}{C} - \frac{1}{C_0} = kt$$

ค.2.2 ผลการทดสอบอันดับปฏิกิริยาของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลม

1. การทดสอบอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์



ภาพที่ 1ค ความสัมพันธ์ระหว่าง $C_0 - C$ และ t

ตารางที่ 8ค ผลการทดสอบความแปรปรวนทางเดียวของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลม

Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2666.788	1	2666.788	11.564	.077
	Residual	461.222	2	230.611		
	Total	3128.010	3			

a Predictors: (Constant), HRT

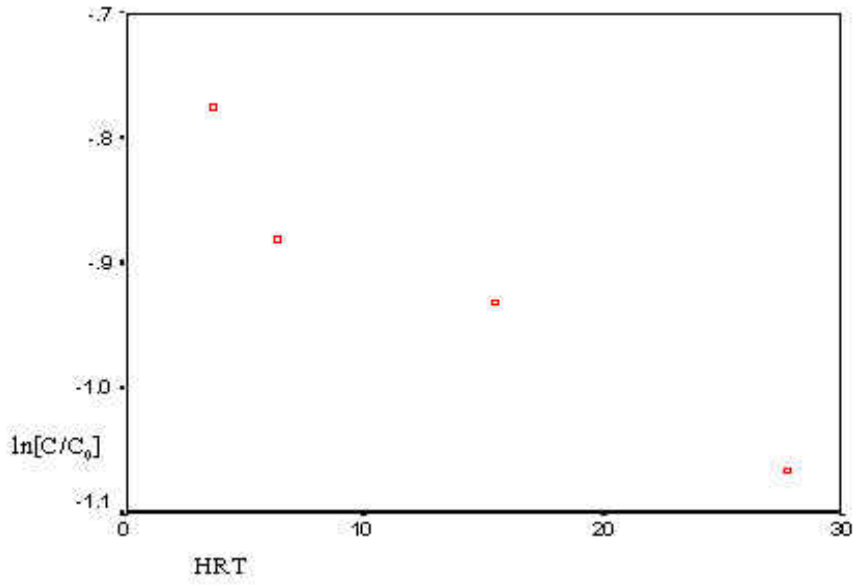
b Dependent Variable: C_0-C

ตารางที่ 9ค ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลม

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	58.313	13.157		4.432	.047	1.704	114.921
	HRT	2.747	.808	.923	3.401	.077	-.729	6.223

a Dependent Variable: C_0-C

2. การทดสอบอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง



ภาพที่ 2ค ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln[C/C_0]$ และ t

ตารางที่ 10ค ผลการทดสอบความแปรปรวนทางเดียวของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลม

Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4.093E-02	1	4.093E-02	25.920	.036
	Residual	3.159E-03	2	1.579E-03		
	Total	4.409E-02	3			

a Predictors: (Constant), HRT

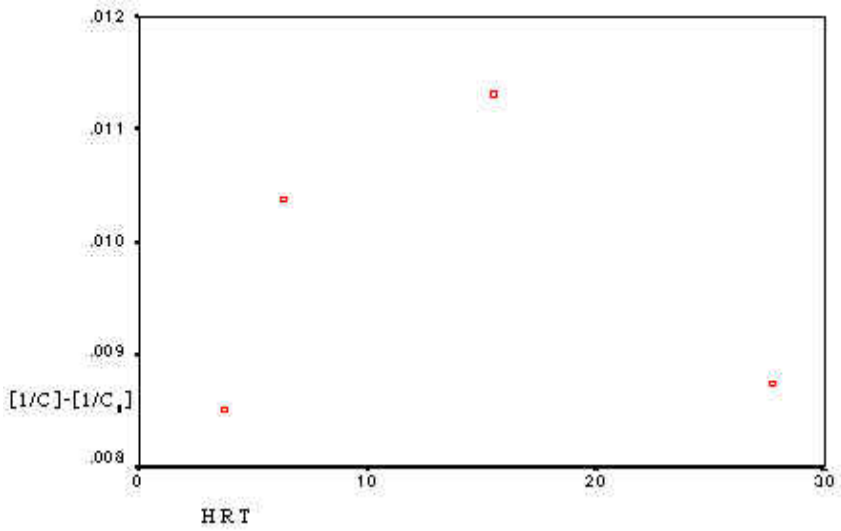
b Dependent Variable: $\ln(C/C_0)$

ตารางที่ 11ค ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลม

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-.771	.034		-22.386	.002	-.919	-.623
	HRT	-1.076E-02	.002	-.964	-5.091	.036	-.020	-.002

a Dependent Variable: $\ln(C/C_0)$

3. การทดสอบอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง



ภาพที่ 3ค ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{1}{C} - \frac{1}{C_0}$ และ t

ตารางที่ 12ค ผลการทดสอบความแปรปรวนทางเดียวของปฏิกิริยาอันดับสองในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลม

Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3.845E-08	1	3.845E-08	.014	.915
	Residual	5.320E-06	2	2.660E-06		
	Total	5.358E-06	3			

a Predictors: (Constant), HRT

b Dependent Variable: $[1/C]-[1/C_0]$

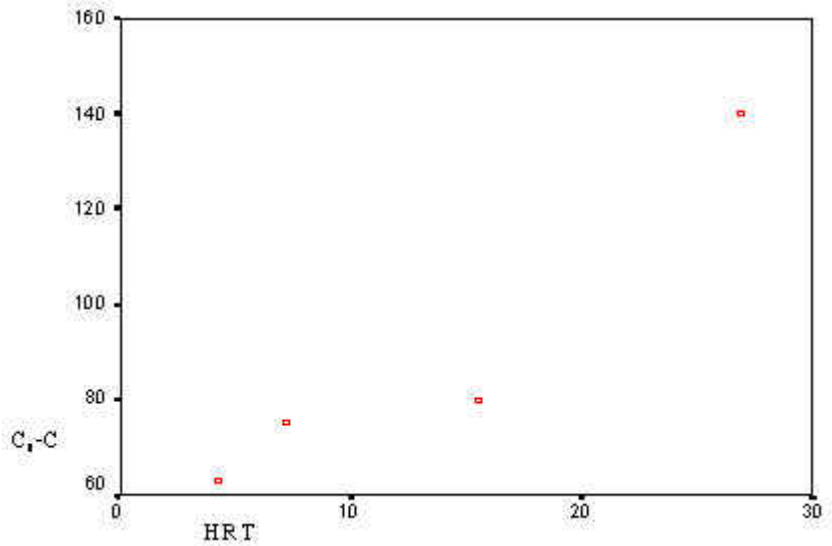
ตารางที่ 13ค ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของปฏิกิริยาอันดับสองในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์กกกลม

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	9.879E-03	.001		6.992	.020	.004	.016
	HRT	-1.043E-05	.000	-.085	-.120	.915	.000	.000

a Dependent Variable: $[1/C]-[1/C_0]$

ค.2.3 ผลการทดสอบอันดับปฏิกิริยาของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษี

1. การทดสอบอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์



ภาพที่ 4ค ความสัมพันธ์ระหว่าง $C_0 - C$ และ t

ตารางที่ 14ค ผลการทดสอบความแปรปรวนทางเดียวของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษี

Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3200.354	1	3200.354	18.053	.051
	Residual	354.553	2	177.277		
	Total	3554.907	3			

a Predictors: (Constant), HRT

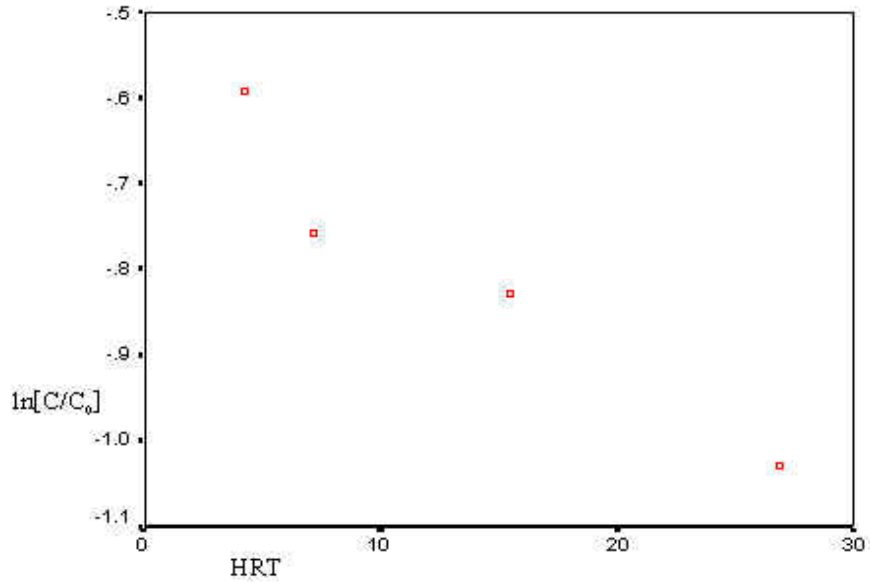
b Dependent Variable: C_0-C

ตารางที่ 15ค ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษี

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	46.131	12.201		3.781	.063	-6.367	98.629
	HRT	3.224	.759	.949	4.249	.051	-.041	6.489

a Dependent Variable: C_0-C

2. การทดสอบอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง



ภาพที่ 5ค ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln[C/C_0]$ และ t

ตารางที่ 16ค ผลการทดสอบความแปรปรวนทางเดียวของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ฐูปฤาษี

Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	9.114E-02	1	9.114E-02	26.032	.036
	Residual	7.002E-03	2	3.501E-03		
	Total	9.814E-02	3			

a Predictors: (Constant), HRT

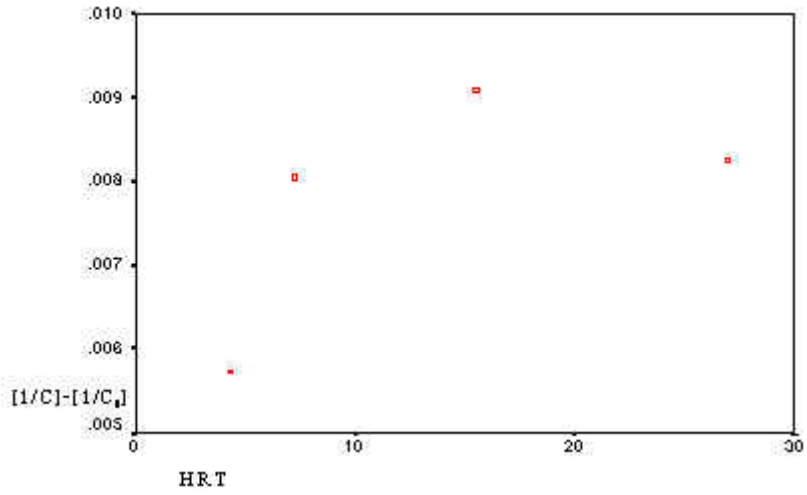
b Dependent Variable: $\ln(C/C_0)$

ตารางที่ 17ค ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ฐูปฤาษี

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-.570	.054		-10.520	.009	-.804	-.337
	HRT	-1.721E-02	.003	-.964	-5.102	.036	-.032	-.003

a Dependent Variable: $\ln(C/C_0)$

3. การทดสอบอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง



ภาพที่ 6ค ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{1}{C} - \frac{1}{C_0}$ และ t

ตารางที่ 18ค ผลการทดสอบความแปรปรวนทางเดียวของปฏิกิริยาอันดับสองในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษี

Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2.224E-06	1	2.224E-06	1.109	.403
	Residual	4.011E-06	2	2.005E-06		
	Total	6.235E-06	3			

a Predictors: (Constant), HRT

b Dependent Variable: $[1/C]-[1/C_0]$

ตารางที่ 19ค ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของปฏิกิริยาอันดับสองในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ธูปฤาษี

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	6.631E-03	.001		5.110	.036	.001	.012
	HRT	8.500E-05	.000	.597	1.053	.403	.000	.000

a Dependent Variable: $[1/C]-[1/C_0]$

ภาคผนวก ง.

เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ

ตารางที่ 1ง มาตรฐานน้ำดิบของการประปาส่วนภูมิภาค

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่าที่ยอมให้มีน้ำ
1. คุณสมบัติทางกายภาพ	
- สี (แพลทตินัมโคบอลท์สเกล “Platinum Cobalt Unit”)	300
2. คุณสมบัติทางเคมี	มก/ล (ppm)
- ของแข็งละลาย	1,500
- เหล็ก	50
- แมงกานีส	5.0
- ทองแดง	1.5
- สังกะสี	1.5
- ฟลูออไรด์	1.5
- แอมโมเนีย	0.5
- ไนโตรเจนทั้งหมด	11
- ไนเตรท	45
- ความต้องการออกซิเจนทางชีววิทยา (BOD)	6
- ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD)	10
3. คุณสมบัติทางชีวภาพ	โคลิฟอร์มแบคทีเรีย
กลุ่มของแบคทีเรีย	(MPN/100 mL)
1. ยอมให้มีการฆ่าเชื้ออย่างเดียว	0-50
2. ต้องมีขบวนการตกตะกอน กรองและฆ่าเชื้อ	50-5,000
3. ต้องมีการบำบัดก่อน 2 ขั้นตอน	5,000-50,000
4. ไม่สมควรนำมาทำน้ำประปา	> 50,000

ที่มา : การประปาส่วนภูมิภาค

ตารางที่ 2ง มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่มิใช่ทะเล (กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้ม, 2535; สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2542)

ลำดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	การแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5
1.	สี กลิ่นและรส (Colour, Odour and Taste)	-	ธ	ธ	ธ	ธ	-
2.	อุณหภูมิ (Temperature)	$^{\circ}C$	ธ	ธ	ธ	ธ	-
3.	ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	ธ	5.0-9.0	5.0-9.0	5.0-9.0	5.0-9.0
4.	ออกซิเจนละลาย (DO)	mg/L	ธ	6.0	4.0	2.0	-
5.	บีโอดี (BOD)	mg/L	ธ	1.5	2.0	4.0	-
6.	แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	MPN/100 mL	ธ	5,000	20,000	-	-
7.	แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)	mg/L	ธ	1,000	4,000	-	-
8.	ไนเตรต (NO_3)ในหน่วยไนโตรเจน	mg/L	ธ	5.0	5.0	5.0	-
9.	แอมโมเนีย (NH_3)ในหน่วยไนโตรเจน	mg/L	ธ	0.5	0.5	0.5	-

ธ เป็นไปตามธรรมชาติ

<u>หมายเหตุ</u>

ประเภทที่ 1 ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

1. การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน
2. การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน
3. การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ

ประเภทที่ 2 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

1. การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อนและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
2. การอนุรักษ์สัตว์น้ำ
3. การประมง
4. การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

ประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

1. การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อนและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
2. การเกษตร

ประเภทที่ 4 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

1. การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อนและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
2. การอุตสาหกรรม

ประเภทที่ 5 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

1. การคมนาคม

ตารางที่ 3ง ร่างมาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรมควบคุมมลพิษ, 2542; 2544)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานสูงสุด	
		มาตรฐาน ก	มาตรฐาน ข
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	5.5 – 9	5.5 – 9
2. บีโอดี (BOD)	มิลลิกรัมต่อลิตร	60	100
3. ซีโอดี (COD)	มิลลิกรัมต่อลิตร	300	400
4. สารแขวนลอย (SS)	มิลลิกรัมต่อลิตร	150	200
5. ไนโตรเจน (TKN)	มิลลิกรัมต่อลิตร	120	200

หมายเหตุ

1. มาตรฐาน ก ใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟาร์มประเภท ก และ มาตรฐาน ข ใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟาร์มประเภท ข และ ค
2. การแบ่งประเภทของฟาร์มสุกรจะใช้น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ (นปส.) หรือ Livestock Unit เป็นเกณฑ์ เนื่องจากฟาร์มแต่ละแห่งจะประกอบด้วยสุกรที่มีความแตกต่างกันทั้งประเภท ขนาดและ ช่วงอายุ ซึ่งจะทำให้เกิดของเสียและน้ำเสียในปริมาณที่แตกต่าง โดยมีข้อกำหนดดังนี้

   2.1 ประเภทของฟาร์มสุกร แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

      1. ประเภท ก มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ มากกว่า 600 นปส. (เทียบเท่าจำนวนสุกรมากกว่า 5,000 ตัว)
      2. ประเภท ข มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ ตั้งแต่ 60-600 นปส. (เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 500-5,000 ตัว)
      3. ประเภท ค มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ ตั้งแต่ 6 น้อยกว่า 60 นปส. (เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 50-น้อยกว่า 500 ตัว)

   2.2 หลักเกณฑ์ การใช้น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์

   เมื่อน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ 1 หน่วยเท่ากับน้ำหนักสุกรรวม 500 กิโลกรัม

   โดย น้ำหนักเฉลี่ยสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ เท่ากับ 170 กิโลกรัม
   น้ำหนักเฉลี่ยสุกรขุน เท่ากับ 60 กิโลกรัม
   น้ำหนักเฉลี่ยลูกสุกร เท่ากับ 12 กิโลกรัม

3. การบังคับใช้มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรจะเริ่มใช้บังคับกับฟาร์มสุกรประเภท ก (ขนาดใหญ่) และ ประเภท ข (ขนาดกลาง) ก่อน โดยกำหนดให้เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษตามมาตรา 69 ของพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมนอกเขตที่ตั้งแหล่งกำเนิดมลพิษ ทั้งนี้ให้บังคับใช้เมื่อพ้นกำหนดหนึ่งปีนับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป สำหรับฟาร์มสุกรประเภท ค (ขนาดเล็ก) จะยังไม่บังคับใช้มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มดังกล่าว แต่จะใช้เสมือนเป็นมาตรฐานทางวิชาการที่จะสนับสนุนและส่งเสริมให้ฟาร์มสุกรขนาดเล็กมีการจัดการฟาร์มที่ถูกต้อง ก่อนที่จะมีการใช้บังคับในระยะต่อไป เนื่องจากฟาร์มประเภท ค มีเป็นจำนวนมากและมีศักยภาพในการลงทุนต่ำจำเป็นต้องใช้ระยะเวลา ในการประชาสัมพันธ์ สนับสนุนการปรับปรุงวิธีการจัดการฟาร์ม ปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่ หรือช่วยเหลือในการจัดสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย
4. ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 118 ตอนพิเศษ 8ง หน้าที่ 11-17 วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2544 และมีผลบังคับใช้ ตั้งแต่วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2545 เป็นต้นไป

ประวัติผู้เขียน

นางสาว พิจิตรา ชโยปถัมภ์ เกิดเมื่อวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2520 เริ่มเข้าศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาเมื่อปี 2541 ภายหลังสำเร็จการศึกษาได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปี 2541