# การกำจัดของแข็งที่ละลายน้ำ ไนเทรตไนโตรเจนและออโธฟอสเฟต ในน้ำทิ้งของโรงพยาบาล

# REMOVAL OF TOTAL DISSOLVED SOLIDS NITRATE NITROGEN AND ORTHOPHOSPHATE IN WASTEWATER FROM HOSPITAL

นางสาวกรกมล บวรศิวมนต์

นายปฐมพงษ์ บรรยงค์พฤฒิ

นางสาวรังศิยาภรณ์ โชคบำรุงศิลป์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

# การกำจัดของแข็งที่ละลายน้ำ ไนเทรตไนโตรเจนและออโธฟอสเฟต ในน้ำทิ้งของโรงพยาบาล

# REMOVAL OF TOTAL DISSOLVED SOLIDS NITRATE NITROGEN AND ORTHOPHOSPHATE IN WASTEWATER FROM HOSPITAL

นางสาวกรกมล บวรศิวมนต์

นายปฐมพงษ์ บรรยงค์พฤฒิ

นางสาวรังศิยาภรณ์ โชคบำรุงศิลป์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# REMOVAL OF TOTAL DISSOLVED SOLIDS NITRATE NITROGEN AND ORTHOPHOSPHATE IN WASTEWATER FROM HOSPITAL

KORNKAMON BORVONSIVAMON

PATOMPONG BUNYONGPURT

RANGSIYAPORN CHOKBUMRUNGSILP

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN ENVIRONMENT CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2013

| | |
|---|---|
| **โครงงานพิเศษ** | การกำจัดของแข็งที่ละลายน้ำ ไนเทรตไนโตรเจนและออโธฟอสเฟต ในน้ำทิ้งของโรงพยาบาล |
| **นักศึกษา** | นางสาวกรกมล บวรศิวมนต์ รหัสนักศึกษา 53051143<br>นายปฐมพงษ์ บรรยงค์พฤฒิ รหัสนักศึกษา 53051206<br>นางสาวรังศิยาภรณ์ โชคบำรุงศิลป์ รหัสนักศึกษา 53051241 |
| **ปริญญา** | วิทยาศาสตรบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | เคมีสิ่งแวดล้อม |
| **ปีการศึกษา** | 2556 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย |

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2556

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| ผศ.ดร. สุวรรณี จรรยาพูน | [signature] |
| อ. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ | [signature] |
| ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย | [signature] |

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **โครงงานพิเศษ** | การกำจัดของแข็งที่ละลายน้ำ ไนเทรตไนโตรเจนและออโธฟอสเฟต ในน้ำทิ้งของโรงพยาบาล |
| **นักศึกษา** | นางสาวกรกมล บวรศิวมนต์ |
| | นายปฐมพงษ์ บรรยงค์พฤฒิ |
| | นางสาวรังศิยาภรณ์ โชคบำรุงศิลป์ |
| **ปริญญา** | วิทยาศาสตรบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | เคมีสิ่งแวดล้อม |
| **ปีการศึกษา** | 2556 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย |

## บทคัดย่อ


โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ไนเทรตไนโตรเจนและออโธฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากบ่อพักน้ำ (Effluent) ของโรงพยาบาลสมุทรปราการ ซึ่งทางโรงพยาบาลใช้ระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ประกอบด้วยถังปฏิกิริยาแบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) และถังตกตะกอน โดยแบคทีเรียหลักในระบบคือกลุ่มใช้ออกซิเจน ซึ่งโครงงานพิเศษนี้จะนำน้ำทิ้งจากบ่อพักน้ำของโรงพยาบาลมาบำบัดต่อด้วยการใช้ผักตบชวาและต้นธูปฤาษี พบว่าการบำบัดด้วยผักตบชวาสามารถกำจัดของแข็งละลายน้ำได้และมีประสิทธิภาพเท่ากับ 14.07% แต่การบำบัดด้วยต้นธูปฤาษี น้ำที่ไหลผ่านระบบมีค่าของแข็งละลายน้ำมากกว่าน้ำทิ้งเข้าระบบ สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดไนเทรตไนโตรเจนการบำบัดด้วยต้นธูปฤาษีมีประสิทธิภาพมากกว่าการบำบัดด้วยผักตบชวา และมีค่าเท่ากับ 81.03%, 63.67% ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดออโธฟอสเฟต ด้วยต้นธูปฤาษีมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ผักตบชวา โดยมีค่าเท่ากับ 94.34%, 56.07% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ Mann-Whitney Test พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ออโธฟอสเฟต และปริมาณไนเทรตของการบำบัดด้วยผักตบชวาและต้นธูปฤาษี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%



**คำสำคัญ** : ธูปฤาษี ผักตบชวา ไนเทรต ออโธฟอสฟอรัส ของแข็งละลายน้ำ น้ำทิ้งโรงพยาบาล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Title** | REMOVAL OF TOTAL DISSOLVED SOLIDS NITRATE NITROGEN AND ORTHOPHOSPHATE IN WASTEWATER FROM HOSPITAL |
| **Students** | Kornkamon Borvonsivamon<br>Patompong Bunyongpurt<br>Rangsiyaporn Chokbumrungsilp |
| **Degree** | Bachelor of Science |
| **Major Program** | Environmental Chemistry |
| **Academic Year** | 2013 |
| **Advisor** | Asst.Prof. Pitsamai Chairat-utai |

## ABSTRACT

This special project evaluated the removal efficiency of total dissolved solids, nitrate-nitrogen and orthophosphates in wastewater from Samutprakarn hospital. This hospital uses activated sludge process which includes aerated reactor and secondary sedimentation tank. This system mainly uses aerobic bacteria to decompose organic substances in wastewater. In this special project the effluent from the hospital's wastewater treatment was further treated by water hyacinth and cattail. The experimental results showed that water hyacinth was able to remove dissolved solids with removal efficiency of 14.07%. Whereas cattails that were grown in sand tank could not remove dissolved solid because effluent from cattails tank has higher total dissolved solids than those of the influent. However, the removal efficiency of nitrate nitrogen by cattails was higher than those of hyacinth system. The removal efficiency of nitrate nitrogen for cattails and water hyacinth were 81.03%, and 63.67% respectively. In additions, the cattails also removed orthophosphates better than hyacinth. The removal efficiency of orthophosphates for cattails and water hyacinth were 94.34% and 56.07 %, respectively. The removal efficiencies of total dissolved solids, orthophosphates, and nitrate were not significantly difference at 95% confidence level when they were statistically analyzed by Mann-Whitney Test.

**Keywords** : Cattail, Water Hyacinth, Nitrate, Orthophosphates, Total Dissolved Solid, Hospital Effluent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษสำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาชี้แนะแนวทาง ให้ทำปรึกษาในการทำโครงงานพิเศษจากผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัยอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ นอกจากนี้ยังให้กำลังใจและการดูแลอย่างดีทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงมาได้

ขอขอบพระคุณผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน และ อ.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ที่เข้าร่วมเป็นคณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษนี้ พร้อมทั้งให้คำแนะนำและเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เพื่อนำไปแก้ไขโครงงานพิเศษให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานโครงงานพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลสมุทรปราการทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์และช่วยเหลือเป็นอย่างดีในการเอื้อเฟือสถานที่ดำเนินโครงงานและดูแลอุปกรณ์ในงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

นอกเหนือจากบุคคลที่ได้กล่าวมาแล้วยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ และให้กำลังใจตลอดโครงงานพิเศษนี้ ทางผู้จัดทำขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวกรกมล บวรศิวมนต์

นายปฐมพงษ์ บรรยงค์พฤฒิ

นางสาวรังศิยาภรณ์ โชคบำรุงศิลป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VII
สารบัญรูป VIII
คำย่อและสัญลักษณ์ IX

**บทที่ 1 บทนำ** 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

**บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** 3
2.1. แหล่งกำเนิดและลักษณะน้ำเสีย 3
2.1.1 กิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสีย 3
2.1.2 ลักษณะสมบัติน้ำเสีย 4
2.1.3 ความจำเป็นที่จะต้องมีการบำบัด 4
2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปของโรงพยาบาล 5
2.2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวทเต็ดสลัดจ์ 5
2.2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวงเวียน 8
2.2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ 9
2.2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลสมุทรปราการ 11
2.3 มาตรฐานน้ำทิ้งโรงพยาบาล 12
2.4 ระบบบึงประดิษฐ์ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


2.4.1 ทฤษฎีของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ 14

2.4.2 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง 14

2.5 ระบบบึงประดิษฐ์โดยใช้ต้นธูปฤาษี 15

2.5.1 หน้าที่ของพืชในระบบบึงประดิษฐ์ 15

2.5.2 ชนิดและลักษณะของพืชในระบบ 16

2.5.3 กลไกการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์ 17

2.5.4 พืชที่ใช้ในการศึกษา 21

2.6 การบำบัดน้ำเสียด้วยผักตบชวา 22

2.6.1 หลักการบำบัดน้ำเสียของผักตบชวา 23

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23

**บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย** 27

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี 27

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 28

3.2.1 น้ำทิ้งที่ใช้ในการศึกษา 28

3.2.2 พืชที่ใช้ในการศึกษา 28

3.2.3 การเตรียมระบบบำบัดและการเติมน้ำทิ้ง 29

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล 32

**บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล** 33

4.1 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของพืชและลักษณะทางเคมีของน้ำทิ้ง 33

4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ 35

4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรตไนโตรเจน 37

4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟต 39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ...ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

**บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ** 40

5.1 สรุปผลการวิจัย 40

5.2 ข้อเสนอแนะ 40

**เอกสารอ้างอิง** 41

**ภาคผนวก ก** วิธีการดำเนินงาน 43

**ภาคผนวก ข** ตารางผลการทดลอง 60

**ภาคผนวก ค** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

หน้า


ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด 13

ตารางที่ 2.2 หน้าที่ของพืชโผล่เหนือน้ำในระบบบึงประดิษฐ์ 17

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำทิ้งที่เติมเข้าและน้ำออก 32

ตารางที่ 4.1 การเจริญเติบโตของพืชและลักษณะทางเคมีของน้ำทิ้ง 34

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำในการบำบัดแบบต่างๆ 35

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดแบบต่างๆ 36

ตารางที่ 4.4 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในการบำบัดแบบต่างๆ 37

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรตในการบำบัดแบบต่างๆ 38

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟตในการบำบัดแบบต่างๆ 39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


หน้า

รูปที่ 2.1 ระบบแอกทีเวทเต็ดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ 6

รูปที่ 2.2 ระบบแอกทิเวทเต็ดสลัดจ์แบบปรับเสถียรสัมผัส 7

รูปที่ 2.3 ระบบคลองวงเวียน 7

รูปที่ 2.4 ระบบบำบัดของโรงพยาบาลสมุทรปราการ 11

รูปที่ 2.5 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง 15

รูปที่ 2.6 ต้นธูปฤาษี 21

รูปที่ 2.7 ผักตบชวา 22

รูปที่ 3.1 วัสดุต่างๆที่ใช้การบำบัดด้วยถังธูปฤาษี 30

รูปที่ 3.2 วิธีการดำเนินงาน 31

รูปที่ 4.1 สภาพการนำไฟฟ้าในน้ำเข้าและน้ำในการบำบัดแบบต่างๆ 36

รูปที่ 4.2 ปริมาณไนเทรตในน้ำเข้าและในการบำบัดแบบต่างๆ 38

รูปที่ 4.3 ปริมาณออโธฟอสเฟตในน้ำเข้าและในการบำบัดแบบต่างๆ 40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำย่อและสัญลักษณ์

| | |
|---|---|
| EC | ค่าการนำไฟฟ้า |
| DO | ออกซิเจนละลายน้ำ |
| μs/cm | ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร |
| mg/L | มิลลิกรัมต่อลิตร |
| *N* | จำนวนตัวอย่าง |
| N | นอร์มัล |
| mL | มิลลิลิตร |
| g | กรัม |
| L | ลิตร |
| Sig. | ระดับนัยสำคัญ |
| SD | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญ

โรงพยาบาลเป็นกิจกรรมหนึ่งในชุมชนที่เป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสีย โดยโรงพยาบาลเป็นสถานที่บริการรักษาผู้เจ็บป่วย ดังนั้น ของเสียที่เกิดจากการให้บริการรักษาผู้เจ็บป่วยอาจมีเชื้อโรคปะปนได้ รวมทั้งน้ำเสียที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดร่างกาย และอุปกรณ์ของใช้ต่างๆ ก็อาจมีเชื้อโรคและสิ่งสกปรกปนเปื้อน และอาจแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกโรงพยาบาลได้ อย่างไรก็ตามน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงพยาบาลเกือบทุกแห่งจะถูกบำบัดและฆ่าเชื้อโรคก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้ได้แก่ ระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์ รองลงมาได้แก่ คลองวงเวียน บ่อเติมอากาศ/ตกตะกอน บ่อผึ่ง ถังกรองไร้อากาศ เป็นต้น จากการรวบรวมข้อมูลโดยกรมควบคุมมลพิษ (2548) ในการติดตามตรวจสอบแหล่งกำเนิดมลพิษจากอาคารประเภท ก ในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาพบว่าโรงพยาบาลบางแห่งมีค่าน้ำทิ้ง (Effluent) เกินค่ามาตรฐานแหล่งกำเนิดมลพิษจากอาคารประเภท ก พารามิเตอร์ส่วนใหญ่ที่มีค่าเกินค่ามาตรฐานคือ บีโอดี (BOD) สารแขวนลอย (TSS) ทีเคเอ็น (TKN) และของแข็งละลายน้ำ (TDS) ดังนั้น น้ำทิ้งเหล่านี้จึงต้องบำบัดขั้นที่ 3 เพื่อให้น้ำทิ้งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาการกำจัดของแข็งละลายน้ำ (TDS) ไนเทรตไนโตรเจน ($NO_3$-N) และออโธฟอสเฟต ($PO_4$-P) ที่มีอยู่ในน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัด (Effluent) ของโรงพยาบาลสมุทรปราการ ด้วยการใช้ผักตบชวาและต้นธูปฤาษี

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งที่ละลายในน้ำทิ้ง โดยการบำบัดด้วยผักตบชวาและต้นธูปฤาษี

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรตไนโตรเจน โดยการบำบัดด้วยผักตบชวาและต้นธูปฤาษี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟต โดยการบำบัดด้วยผักตบชวาและต้นธูปฤาษี

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. การบำบัดที่ใช้ผักตบชวา จะใช้ภาชนะพลาสติกใส่ผักตบชวาลงในภาชนะ เติมน้ำเข้าระบบสัปดาห์ละ 3 ครั้ง วัดการเจริญเติบโตและลักษณะทางกายภาพ เคมีของน้ำในภาชนะสัปดาห์ละครั้ง

2. การบำบัดที่ใช้ต้นธูปฤาษี จะใช้ถังพลาสติกทรงกระบอกทึบเพื่อจำลองสภาพภายใต้ชั้นดินให้ไม่ได้รับแสง ภายในบรรจุกรวยหยาบ กรวดละเอียด ทรายละเอียด เติมน้ำเข้าระบบสัปดาห์ละ 3 ครั้ง ติดตามการเจริญเติบโตและลักษณะทางกายภาพ เคมีของน้ำที่ไหลออกจากระบบ

3. พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ ของแข็งละลายน้ำ (TDS) ไนเทรตไนโตรเจน ($NO_3$ N) และออโธฟอสเฟต ($PO_4$-P) ในน้ำที่เติมเข้าระบบและน้ำหลังผ่านระบบโดยเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละครั้ง

## 1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. ช่วยลดปริมาณของแข็งละลายน้ำให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ตามมาตรฐานกรมควบคุมมลพิษ

2. ทราบถึงประสิทธิภาพของการบำบัดด้วยผักตบชวาเปรียบเทียบกับต้นธูปฤาษีในการกำจัดไนเทรตไนโตรเจน และออโธฟอสเฟตในน้ำทิ้ง

3. สามารถบำบัดน้ำทิ้งที่เกิดจากบ้านเรือน ชุมชน และบ่อบำบัดตามสถานประกอบการต่างๆ โดยใช้ระบบที่ไม่ซับซ้อน สะดวก และเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 แหล่งกำเนิดและลักษณะน้ำเสีย

### 2.1.1 กิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสีย

กิจกรรมที่เกิดจากการให้บริการรักษาผู้เจ็บป่วยต่างๆภายในโรงพยาบาลที่ก่อให้เกิดน้ำเสีย ดังนี้

1. สถานที่ตรวจคนไข้นอก มีผู้ป่วยและญาติมาใช้ห้องน้ำ

2. สถานที่ตรวจคนไข้ใน มีผู้ป่วยมารับการรักษาตัวในโรงพยาบาล รวมทั้งญาติมาเฝ้า ลักษณะน้ำเสียจะแตกต่างกันตามสภาพการบริการ ลักษณะน้ำเสียจึงอาจมีการปนเปื้อนน้ำยาฆ่าเชื้อโรคในการทำความสะอาดแผล

3. โรงซักผ้า ได้แก่ เสื้อผ้าผู้ป่วย หมอนเตียง ผ้าห่ม น้ำเสียอาจปนเปื้อนเชื้อโรค น้ำยาซักผ้าและน้ำร้อน

4. โรงครัวและห้องอาหาร น้ำเสียมีเศษอาหาร และไขมันปนเปื้อนมาก

5. ห้องผ่าตัด ห้องคลอด และห้องเก็บศพ น้ำเสียมีการปนเปื้อนของเลือดน้ำยาฆ่าเชื้อโรค

6. ห้องปฏิบัติการ ลักษณะน้ำเสียประกอบด้วยเชื้อโรคที่ตรวจวิเคราะห์อาหารเลี้ยงเชื้อ และสารเคมีฆ่าเชื้อโรค

7. ห้องยา น้ำเสียเกิดจากการปรุงยา

8. อาคารบ้านพักภายในโรงพยาบาล น้ำเสียมีลักษณะเหมือนกับน้ำเสียชุมชน

9. อาคารสถานที่ทำการต่างๆ เช่น ตึกอำนวยการ มีน้ำเสียจากอ่างล้างมือและน้ำโสโครกจากชักโครก

สรุปได้ว่า น้ำเสียจากโรงพยาบาลมีความสกปรกสูงกว่าน้ำเสียจากบ้านเรือนโดยมีน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการดำรงชีวิต และน้ำเสียจากผู้ป่วยที่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดจากทุกกิจกรรมภายในโรงพยาบาล จะต้องได้รับการบำบัดและผ่านการฆ่าเชื้อโรคก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้ได้รับการสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.1.2 ลักษณะสมบัติน้ำเสีย (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)**

ปริมาณน้ำเสียจากโรงพยาบาลอยู่ในช่วง 800 ลิตรต่อเตียงผู้ป่วย น้ำเสียจากโรงพยาบาลมีลักษณะคล้ายกับน้ำเสียจากบ้านเรือน แต่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์และอาจมีอันตราย ได้แก่ จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ยาที่มีองค์ประกอบที่เป็นอันตราย สารเคมีฆ่าเชื้อโรค และสารกัมมันตรังสี ซึ่งเกิดจากกิจกรรมการให้บริการรักษาผู้ป่วยมีองค์ประกอบต่างๆดังนี้

**1. สารอินทรีย์** ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น สิ่งขับถ่ายจากคน เศษข้าว ก๋วยเตี๋ยว พืชผัก น้ำยาทำความสะอาด เป็นต้น สารอินทรีย์ในน้ำเสียมีทั้งที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยและสารละลาย ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจน และอาจเกิดสภาพเน่าเสียได้ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมวัดด้วยค่าบีโอดี (BOD) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสูง แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มากและสภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย

**2. จุลินทรีย์** น้ำเสียจากโรงพยาบาลจะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตและระดับของออกซิเจนละลายน้ำทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็น นอกจากนี้จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อประชาชน

**3. โลหะหนักและสารพิษ** อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ และสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหาร เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น โลหะหนัก ยา สารเคมีต่างๆ ที่ใช้และถ่ายทิ้งลงในน้ำเสียจากโรงพยาบาล

**2.1.3 ความจำเป็นที่จะต้องมีการบำบัดน้ำเสีย**

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนแหล่งน้ำธรรมชาติที่จะนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค นอกจากนี้แหล่งน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดยังเกิดปัญหามลภาวะมลพิษทางน้ำทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ จึงจำเป็นต้องนำมาบำบัดก่อนนำมาใช้เพื่อการบริโภคอุปโภค โดยวัตถุประสงค์ของการบำบัดน้ำเสียคือ

- เพื่อทำลายตัวการที่ทำให้เกิดโรค
- เพื่อเปลี่ยนสภาพน้ำเสียให้อยู่ในสภาพที่สามารถนำกลับมาใช้ได้
- เพื่อไม่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญ ซึ่งความรำคาญที่เกิดขึ้น เช่น กลิ่นของน้ำเสีย หรือสีที่เป็นที่น่ารังเกียจ
- เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดภาวะมลพิษ

## 2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปของโรงพยาบาล (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

โรงพยาบาลมีการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมด้วยระบบบำบัดต่างๆ ดังนี้

### 2.2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวทเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge Proces ; AS)

เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถบำบัดได้ทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่การเดินระบบประเภทนี้จะมีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากจำเป็นจะต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ ให้เหมาะสมแก่การทำงานและการเพิ่มจำน วนของจุลินทรีย์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด ในปัจจุบัน ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีการพัฒนาใช้งานหลายรูปแบบ เช่น ระบบแบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mix) กระบวนการปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Process) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) หรือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) เป็นต้น

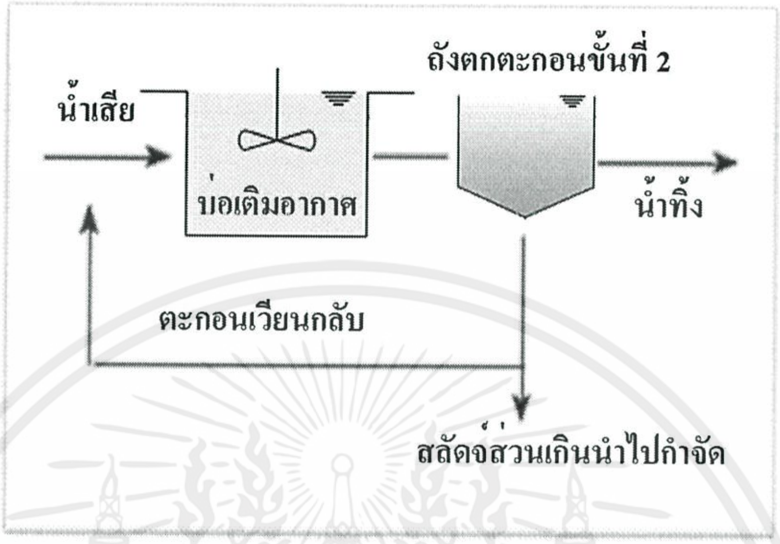
**1. หลักการทำงานของระบบ**

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ถังเติมอากาศ (Aeration Tank) และถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) โดยน้ำเสียจะถูกส่งเข้าถังเติมอากาศ ซึ่งมีสลัดจ์อยู่เป็นจำนวนมากตามที่ออกแบบไว้ สภาวะภายในถังเติมอากาศจะมีสภาพที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบแอโรบิค จุลินทรีย์เหล่านี้จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในที่สุด น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลต่อไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกสลัดจ์ออกจากน้ำใส สลัดจ์ที่แยกตัวอยู่ที่ก้นถังตกตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับเข้าไปในถังเติมอากาศใหม่เพื่อรักษาความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังเติมอากาศให้ได้ตามที่กำหนด และอีกส่วนหนึ่งจะเป็นสลัดจ์ส่วนเกิน (Excess Sludge) ที่ต้องนำไปกำจัดต่อไป สำหรับน้ำใสส่วนบนจะเป็นน้ำทิ้งที่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

**2. ระบบแอกทิเวทเต็ดสลัดจ์รูปแบบต่างๆ**

2.1 ระบบแอกทิเวทเต็ดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed Activated Sludge: CMAS) ลักษณะสำคัญของระบบแอกทิเวทเต็ดสลัดจ์แบบนี้ คือ จะต้องมีถังเติมอากาศที่สามารถกวนให้น้ำและสลัดจ์ที่อยู่ในถังผสมเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั่วทั้งถัง ระบบแบบนี้สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Shock Load) ได้ดี เนื่องจากน้ำเสียจะกระจายไปทั่วถึง

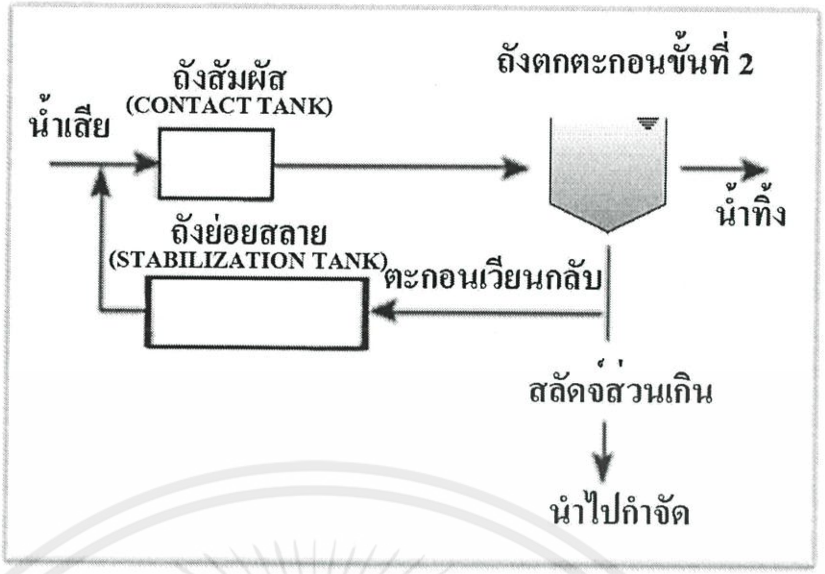
และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในถังเติมอากาศก็มีค่าสม่ำเสมอทำให้จุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่มีลักษณะเดียวกันตลอดทั้งถัง (Uniform Population) (รูปที่ 2.1)




**รูปที่ 2.1** ระบบแอกทีเวทเต็ดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

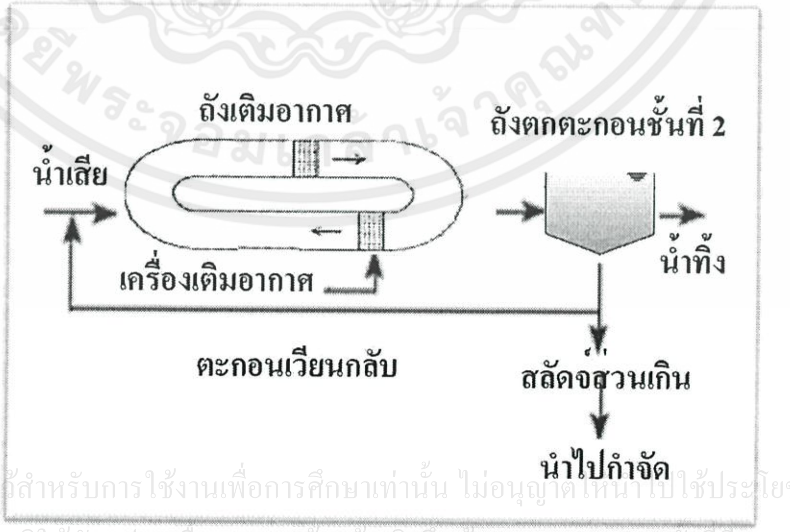
2.2 ระบบแอกทิเวทเต็ดสลัดจ์แบบปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Activated Sludge; CSAS) ลักษณะสำคัญของระบบแอกทิเวทเต็ดสลัดจ์แบบนี้ คือ จะแบ่งถังเติมอากาศออกเป็น 2 ถังอิสระจากกัน ได้แก่ ถังสัมผัส (Contact Tank) และถังย่อยสลาย (Stabilization Tank) โดยตะกอนที่สูบมาจากก้นถังตกตะกอนขั้นสองจะถูกส่งมาเติมอากาศใหม่ในถังย่อยสลาย จากนั้นตะกอนจะถูกส่งมาสัมผัสกับน้ำเสียในถังสัมผัส (Contact Tank) เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ในถังสัมผัสนี้ความเข้มข้นของสลัดจ์จะลดลงตามปริมาณน้ำเสียที่ผสมเข้ามาใหม่ น้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้วจะไหลไปยังถังตกตะกอนขั้นที่สองเพื่อแยกตะกอนกับส่วนน้ำใส โดยน้ำใสส่วนบนจะถูกระบายออกจากระบบ และตะกอนที่ก้นถังส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับไปเข้าถังย่อยสลาย และอีกส่วนหนึ่งจะนำไปทิ้ง ทำให้บ่อเติมอากาศมีขนาดเล็กกว่าบ่อเติมอากาศของระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์ทั่วไป (รูปที่ 2.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.2** ระบบแอกทิเวทเต็ดสลัดจ์แบบปรับเสถียรสัมผัส (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

2.3 ระบบคลองเวียนวน (Oxidation Ditch; OD) ลักษณะสำคัญของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบนี้ คือ รูปแบบของถังเติมอากาศจะมีลักษณะเป็นวงรีหรือวงกลม ทำให้น้ำไหลวนเวียนตามแนวยาว (Plug Flow) ของถังเติมอากาศ และรูปแบบการกวนที่ใช้เครื่องกลเติมอากาศตีน้ำในแนวนอน (Horizontal Surface Aerator) รูปแบบของถังเติมอากาศลักษณะนี้จะทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า แอน็อกซิก (Anoxic Zone) ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนละลายในน้ำทำให้ไนเตรทไนโตรเจน ($NO_3^{2-}$) ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน ($N_2$) โดยแบคทีเรียจำพวกไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrosomonas Spp. และ Nitrobactor Spp.) ทำให้ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนได้ (รูปที่ 2.3)




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.3** ระบบคลองวงเวียน (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

**2.2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch ; OD)**

เป็นระบบแอกทิเวทเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) ประเภทหนึ่ง ที่ใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และเจริญเติบโตเพิ่มจำนวน ก่อนที่จะถูกแยกออกจากน้ำทิ้งโดยวิธีการตกตะกอน การเดินระบบบำบัดประเภทนี้จะมีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจาก จำเป็นจะต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ ให้เหมาะสมต่อการทำงานและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

**1. หลักการทำงานของระบบ** การทำงานของระบบคลองวนเวียนจะเหมือนกับระบบแอกทิเวทเต็ดสลัดจ์โดยทั่วไป คือ อาศัยจุลินทรีย์มากมายหลายชนิด โดยจุลินทรีย์ที่สำคัญได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา และโปรโตซัว เป็นต้น ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะเป็นสภาวะแอโรบิค โดยจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียเป็นแหล่งอาหารและพลังงาน เพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ในระบบ จากนั้นจึงแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียที่ผ่านบำบัดแล้ว โดยวิธีการตกตะกอนในถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) เพื่อให้ได้น้ำใส (Supernatant) อยู่ส่วนบนของถังตกตะกอน ซึ่งมีคุณภาพน้ำดีขึ้น และสามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

**2. ส่วนประกอบของระบบ** ระบบคลองวนเวียนจะมีลักษณะแตกต่างจากระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์แบบอื่น คือ ถังเติมอากาศจะมีลักษณะเป็นวงกลมหรือวงรี ทำให้ระบบคลองวนเวียนจึงใช้พื้นที่มากกว่าระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์แบบอื่น โดยรูปแบบของถังเติมอากาศแบบวงกลมหรือวงรี ทำให้น้ำไหลวนเวียนตามแนวยาว (Plug Flow) ของถังเติมอากาศ และการกวนจะใช้เครื่องกลเติมอากาศ ซึ่งตีน้ำในแนวนอน (Horizontal Surface Aerator) จากลักษณะการไหลแบบตามแนวยาวทำให้สภาวะในถังเติมอากาศแตกต่างไปจากระบบแอคติเวทเต็ดจ์สลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed Activated Sludge) โดยค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ ในถังเติมอากาศจะลดลงเรื่อย ๆ ตามความยาวของถัง จนกระทั่งมีค่าเป็นศูนย์ เรียกว่าเขตแอน็อกซิก (Anoxic Zone) ซึ่งจะมีระยะเวลาไม่ช่วงนี้ไม่เกิน 10 นาที การที่ถังเติมอากาศมีสภาวะเช่นนี้ทำให้เกิดไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) ขึ้นในถังเดียวกัน ทำให้ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนได้ดีขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3. ระบบคลองวนเวียนส่วนใหญ่จะประกอบด้วยหน่วยบำบัด ดังนี้**

3.1 รางดักกรวดทราย (Grit Chamber)

3.2 บ่อปรับสภาพการไหล (Equalizing Tank)

3.3 บ่อเติมอากาศแบบคลองวนเวียน

3.4 ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank)

3.5 บ่อสูบตะกอนหมุนเวียน และ

3.6 บ่อเติมคลอรีน

**2.2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon หรือ AL)**

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการเติมออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศ (Aerator) ที่ติดตั้งแบบทุ่นลอยหรือยึดติดกับแท่นก็ได้ เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำให้มีปริมาณเพียงพอ สำหรับจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เร็วขึ้นกว่าการปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียในรูปของค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) ได้ร้อยละ 80-95 โดยอาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) โดยมีเครื่องเติมอากาศซึ่งนอกจากจะทำหน้าเพิ่มออกซิเจนในน้ำแล้วยังทำให้เกิดการกวนผสมของน้ำในบ่อด้วย ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงภายในบ่อ

**1. หลักการทำงานของระบบ** ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ สามารถบำบัดน้ำเสียได้ทั้งน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่มีความสกปรกค่อนข้างมาก และน้ำเสียจากอุตสาหกรรม โดยปกติจะออกแบบให้บ่อมีความลึกประมาณ 2-6 เมตร ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (Detention Time) ภายในบ่อเติมอากาศประมาณ 3-10 วัน และเครื่องเติมอากาศจะต้องออกแบบให้มีประสิทธิภาพสามารถทำให้เกิดการผสมกันของตะกอนจุลินทรีย์ ออกซิเจนละลายในน้ำ และน้ำเสีย นอกจากนี้จะต้องมีบ่อบ่ม (Polishing Pond หรือ Maturation Pond) รับน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศเพื่อตกตะกอนและปรับสภาพน้ำทิ้งก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้จะต้องควบคุมอัตราการไหลของน้ำภายในบ่อบ่มและระยะเวลาเก็บกักให้เหมาะสมไม่นานเกินไป เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณของสาหร่าย (Algae) ในบ่อบ่มมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ใช้เป็นแหล่งค้นคว้าเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2. ส่วนประกอบของระบบ**

ระบบบ่อเติมอากาศส่วนใหญ่จะประกอบด้วยหน่วยบำบัด ดังนี้

1) บ่อเติมอากาศ

2) บ่อบ่มเพื่อปรับสภาพน้ำทิ้ง

3) บ่อเติมคลอรีนสำหรับฆ่าเชื้อโรค

1.1 อุปกรณ์ที่สำคัญของระบบบ่อเติมอากาศ ได้แก่ เครื่องเติมอากาศ ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ออกซิเจนแก่น้ำเสีย เครื่องเติมอากาศแบ่งออกได้ 4 แบบใหญ่ ๆ คือ เครื่องเติมอากาศที่ผิวหน้า (Surface Aerator) เครื่องเติมอากาศเทอร์ไบน์ (Turbine Aerator) เครื่องเติมอากาศใต้น้ำ (Submersible Aerator) และเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด (Jet Aerator)

1.1.1 เครื่องเติมอากาศที่ผิวหน้า (Surface Aerator) จะทำหน้าที่ตีน้ำที่ระดับผิวบนให้กระจายเป็นเม็ดเล็ก ๆ ขึ้นมาเพื่อสัมผัสกับอากาศเพื่อรับออกซิเจน ในขณะเดียวกันก็จะเป็นการกวนน้ำให้ผสมกันเพื่อกระจายออกซิเจน และมลสารในน้ำเสียให้ทั่วบ่อ

1.1.2 เครื่องเติมอากาศเทอร์ไบน์ใต้น้ำ (Submerged Turbine Aerator) มีลักษณะการทำงานผสมกันระหว่างระบบเป่าอากาศ และระบบเครื่องกลเติมอากาศ กล่าวคือ อากาศหรือออกซิเจนจะเป่ามาตามท่อมาที่ใต้ใบพัดตีน้ำ จากนั้นอากาศจะถูกใบพัดเทอร์ไบน์ (Turbine) ตีฟองอากาศขนาดเล็กกระจายไปทั่วถังเติมอากาศ เครื่องเติมอากาศชนิดนี้มีความสามารถในการให้ออกซิเจนสูง แต่มีราคาแพงและต้องการการบำรุงรักษามากกว่าแบบอื่น

1.1.3 เครื่องเติมอากาศใต้น้ำ (Submersible Aerator)มีลักษณะผสมกันระหว่างเครื่องสูบน้ำ (Pump) เครื่องดูดอากาศ (Air Blower) และเครื่องตีอากาศให้ผสมกับน้ำ (Disperser) อยู่ในเครื่องเดียวกัน แต่มีข้อจำกัดด้านการกวนน้ำ (Mixing)

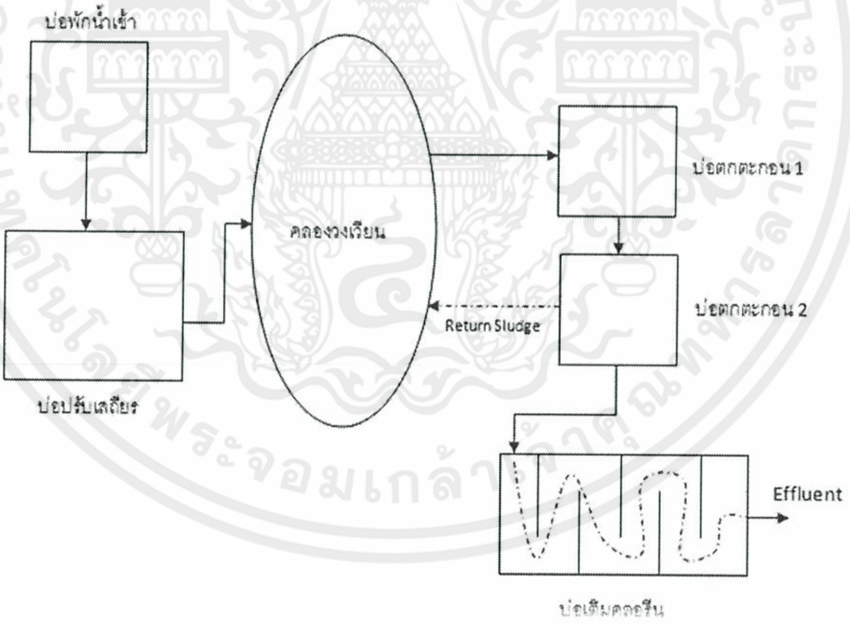
1.1.4 เครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดน้ำ (Jet Aerator)มี 2 แบบ คือ แบบแรกใช้หลักการทำงานของ Venturi Ejector และแบบที่สองจะเป็นการสูบฉีดน้ำลงบนผิวน้ำ การทำงานของแต่ละแบบมีดังนี้

1) แบบ Venturi Ejector อาศัยเครื่องสูบน้ำแบบใต้น้ำฉีดน้ำผ่านท่อที่มีรูปร่างเป็น Venturi เพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำจนกระทั่งเกิดแรงดูดอากาศจากผิวน้ำลงมาผสมกับน้ำก็จะถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำ การใช้เครื่องเติมอากาศแบบนี้เหมาะสำหรับน้ำเสียที่ไม่มีเศษขยะหรือของแข็งขนาดใหญ่เพื่ออาจเข้าไปอุดตันในท่อ Venturi ได้ง่าย

2) แบบสูบฉีดน้ำลงบนผิวน้ำ (Water Jet Aerator) เป็นการสูบน้ำจากถังเติมอากาศมาฉีดด้วยความเร็วสูงสงที่ผิวน้ำ ซึ่งจะเกิดการกระจายของอากาศลงไปตามแรงฉีดเข้าไปในน้ำ

### 2.2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลสมุทรปราการ

จากการสำรวจบ่อบำบัดโรงพยาบาลสมุทรปราการ พบว่าทางโรงพยาบาลใช้ระบบบำบัดแบบคลองวงเวียน (Oxidation Ditch) ซึ่งเป็นระบบที่มีรูปแบบ คือ มีบ่อปรับเสถียรหรือบ่อเติมอากาศมีลักษณะเป็นวงกลมหรือวงรี ทำให้น้ำไหลวนเวียนตามแนวยาว และยังใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจนเป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ก่อนที่จะถูกแยกออกจากน้ำทิ้งโดยวิธีตกตะกอน และมีการฆ่าเชื้อโรคในน้ำเสียด้วยการเติมคลอรีน จึงจะสามารถปล่อยน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งเป็นวิธีที่โรงพยาบาลทั่วไปนิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม (รูปที่ 2.4)




**รูปที่ 2.4** ระบบบำบัดของโรงพยาบาลสมุทรปราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 มาตรฐานน้ำทิ้งโรงพยาบาล

คู่มือการจัดการน้ำเสียจากโรงพยาบาลซึ่งจัดทำโดยกรมควบคุมมลพิษ กล่าวถึงแนวทางการจัดการน้ำเสียจากการให้บริการรักษาผู้ป่วยของโรงพยาบาล โดยใช้กรณีตัวอย่างวิธีสำรวจปัญหาสิ่งแวดล้อม และวิธีปฏิบัติเบื้องต้นในการจัดการมลพิษ เพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวเป็นแนวทางในการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในปัจจุบันว่ามีความเหมาะสมและสามารถที่จะบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ เพื่อให้สามารถปฏิบัติตามกฎหมายสิ่งแวดล้อมและเป็นการลดผลกระทบต่อแหล่งรองรับน้ำทิ้งที่น้อยที่สุด ซึ่งโรงพยาบาลจัดเป็นน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.1** ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

| ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **ดัชนีคุณภาพน้ำ** | **หน่วย** | **เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามประเภทมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง** | | **วิธีวิเคราะห์** |
| | | **ก** | **ข** | |
| 1. ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) | - | 5-9 | 5-9 | (pH Meter) |
| 2. บีโอดี (BOD) | mg/L | ไม่เกิน 20 | ไม่เกิน 30 | ใช้วิธีการ Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน |
| 3.ปริมาณของแข็ง<br>- ค่าสารแขวนลอย (Suspended Soilds) | mg/L | ไม่เกิน 30 | ไม่เกิน 40 | กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว(Glass Fibre Filter Disc) |
| - ค่าตะกอนหนัก (Settleable Solids) | mg/L | ไม่เกิน 0.5 | ไม่เกิน 0.5 | วิธีการกรวยอิมฮอฟ (Imhoff cone) |
| - ค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solid) | mg/L | ไม่เกิน 500 | ไม่เกิน 500 | ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง |
| 4. ค่าซัลไฟด์ (Sulfide) | mg/L | ไม่เกิน 1.0 | ไม่เกิน 1.0 | วิธีการไตเตรต (Titrate) |
| 5. ไนโตรเจน (Nitrogen) ในรูป ที เค เอ็น (TKN) | mg/L | ไม่เกิน 35 | ไม่เกิน 35 | วิธีการเจลดาห์ล (kjeldahl) |
| 6. น้ำมันและไขมัน (Fat , Oil and Grease) | mg/L | ไม่เกิน 20 | ไม่เกิน 20 | วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland System) (ประกายธรรม, 2550)

### 2.4.1 ทฤษฎีของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

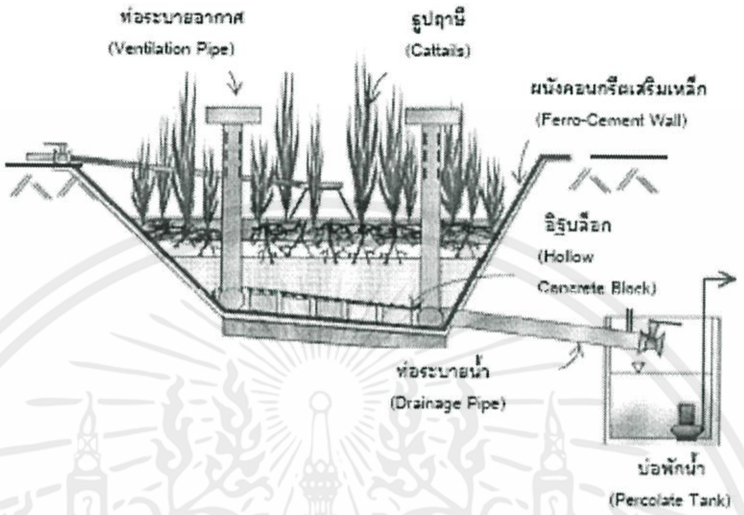
ระบบบึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์โดยธรรมชาติ ที่เรียกว่า ระบบบึงธรรมชาติ แต่มีการออกแบบมาเพื่อข้อด้อยของระบบบึงตามธรรมชาติ โดยมีการปรับปรุงชนิดพืช รวมไปถึงองค์ประกอบอื่นๆ ของระบบ ระบบสามารถสร้างได้จากดินที่มีน้ำท่วมขัง ซึ่งมีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ หรืออาจใช้ตัวกลางอื่นๆ ได้แก่ หิน กรวด ทราย โดยส่วนใหญ่ที่นิยมใช้เป็นพืชน้ำ ได้แก่ ต้นอ้อ (*Phragmites*) ต้นธูปฤาษี (*Typha*) และต้นกก (*Scirpus*) เป็นต้น

การสร้างบึงประดิษฐ์จะช่วยหลีกเลี่ยงข้อขัดแย้งและปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ที่อาจเกิดจากการใช้บึงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสียได้ นอกจากนี้บึงประดิษฐ์สามารถออกแบบเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้สูงสุด บึงประดิษฐ์จะมีความแตกต่างกับบึงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติตรงที่บึงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะมีข้อจำกัดของการบำบัดน้ำเสีย คือ มีระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) ที่สั้น ซึ่งมีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำออก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์จึงจำเป็นต้องเพิ่มระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสีย ทำให้ต้องใช้พื้นที่มากกว่าระบบอื่นๆ (ประกายธรรม, 2550) อย่างไรก็ตามบึงประดิษฐ์ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ประหยัดและมีประสิทธิภาพดีระบบหนึ่ง ซึ่งใช้ประโยชน์จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างพืชที่ปลูกในระบบกับจุลินทรีย์ในการกำจัดของเสีย โดยทั่วไปแล้วบึงประดิษฐ์ได้ถูกออกแบบและควบคุมให้มีการทำงานโดยมีรูปแบบการไหลของน้ำในแนวนอน (horizontal-flow) ซึ่งได้แก่ ระบบที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (free water surface flow) และระบบที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (subsurface flow) ในขณะที่บึงประดิษฐ์ที่มีรูปแบบการไหลของน้ำในแนวดิ่ง (vertical-flow) โดยทั่วไปจะใช้ในการกำจัดกากตะกอนหรือของเสียจากบ่อเกรอะซึ่งมีของแข็ง (solids) เป็นส่วนประกอบอยู่ปริมาณมาก

### 2.4.2 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวดิ่ง (Vertical Flow: VF)

บึงประดิษฐ์ประเภทนี้เป็นระบบที่ใช้ในการศึกษาซึ่งประกอบไปด้วยตัวกรองเพื่อช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะและพืชเจริญเติบโตได้ ตัวกรองที่ใช้อาจเป็นหิน กรวด และทราย อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน น้ำเสียจะไหลผ่านชั้นกรองในแนวดิ่งโดยมีระบบการระบายน้ำอยู่ใต้ชั้นกรอง (underdrain system) และบึงประดิษฐ์ประเภทนี้ยังมีระบบระบายอากาศ (ventilation system) เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้มีสภาวะไร้อากาศเกิดขึ้นในส่วนรากของพืช และพื้นที่ว่างเหนือจาก

บริเวณผิวหน้าชั้นกรองขึ้นไปจะใช้เป็นที่สะสมกากตะกอนของเสียที่ถูกรีดน้ำออกแล้ว ระบบนี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีภาระสารอินทรีย์สูงๆ เช่น สิ่งปฏิกูล ได้ โดยมีความเข้มข้นของบีโอดีที่เข้าระบบอยู่ในช่วง 500 – 70,000 มก./ลิตร




**รูปที่ 2.5** บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง (VF)

## 2.5 ระบบบึงประดิษฐ์โดยใช้ต้นธูปฤาษี

พืชในระบบทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ แลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศสู่รากพืช (Root-zone) ทั้งยังช่วยให้แสงแดดกระทบผิวน้ำน้อยลง ซึ่งถือเป็นการป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Algae) ในน้ำทางอ้อม เนื่องจากพืชสามารถนำสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสียไปใช้ได้เพียงเล็กน้อยจึงไม่มีหน้าที่หลักในการย่อยสลาย และดูดซึมสารอินทรีย์คาร์บอน

**2.5.1 หน้าที่ของพืชในระบบบึงประดิษฐ์** มีหน้าที่หลักในการลำเลียงออกซิเจน ระบบรากพืชในบึงประดิษฐ์จะเจริญเติบโตอยู่ในชั้นดินหรือแทรกตัวเข้าไปในชั้นกรอง โดยออกซิเจนจากบรรยากาศจะถ่ายเทเข้าสู่พืชทางใบ และลำเลียงออกซิเจนซึ่งใช้หลักการแพร่ (Diffusion) และการไหลพาของอากาศ (Convection) ลงไปยังระบบรากทำให้สามารถลำเลียงออกซิเจนไปยังตอนล่างของระบบได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งหน้าที่ทั่วๆไปของพืชในระบบบึงประดิษฐ์สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การแพร่กระจายของออกซิเจน พืชน้ำจะปล่อยออกซิเจนจากรากออกสู่บริเวณรอบๆ โดยอาศัยหลักการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งการซึมของออกซิเจนทำให้เกิดการออกซิไดซ์สามารถช่วยลดความเป็นพิษต่างๆ ได้

2. เป็นที่ยึดเกาะสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เนื้อเยื่อของพืชจะมีสาหร่ายที่สังเคราะห์แสงได้เกาะอยู่หนาแน่น รวมทั้งจุลินทรีย์ต่างๆ นอกจากนี้ยังมีไบโอฟิล์มที่เกาะกับซากพืชที่ตายแล้ว ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในระบบบึงประดิษฐ์

3. พืชในระบบจะช่วยลดความเร็วของกระแสน้ำ เพิ่มเวลาในการสัมผัสระหว่างน้ำเสีย และพืชให้มากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยทำให้เกิดการตกตะกอนได้ดีขึ้นอีกด้วย

4. การดูดซับสารอาหาร พืชจะดูดสารอาหารจำนวนมากทางราก ซึ่งสารอาหารที่ถูกดูดซับเหล่านี้จะถูกกำจัดต่อไปโดยการตัดและการเก็บเกี่ยวพืชออกจากระบบ พืชสามารถกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจนได้ อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณสารอาหารที่ถูกกำจัดจากการเก็บเกี่ยวมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับภาระน้ำเสียที่เข้าระบบ แต่ถ้าระบบไม่มีการเกี่ยวพืชออกสารอาหารในพืชก็จะถูกปล่อยกลับสู่ระบบอีกครั้งด้วยกระบวนการย่อยสลาย (Decomposition)

### 2.5.2 ชนิดและลักษณะของพืชในระบบบึงประดิษฐ์

พืชโผล่เหนือน้ำ (Emergent plant) เป็นพืชน้ำที่มีรากเจริญเติบโตอยู่ในดินใต้น้ำ ใบและดอกชูขึ้นเหนือน้ำ ซึ่งแต่ละชนิดก็เติบโตได้ที่ระดับน้ำต่างๆกัน ตัวอย่างของพืชประเภทนี้ได้แก่ บัวชนิดต่างๆ กกบางชนิด และต้นธูปฤาษี เป็นต้น พืชชนิดนี้เป็นพืชที่นิยมใช้ในระบบบึงประดิษฐ์ เนื่องจากเป็นพืชที่สามารถปรับตัวและทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมได้ดี และสามารถปลูกได้ทั้งในพื้นที่ชุ่มน้ำและพื้นที่น้ำท่วม คุณสมบัติพิเศษของพืชประเภทนี้ คือ ส่วนใบที่อยู่เหนือน้ำสามารถนำหรือลำเลียงออกซิเจนจากชั้นบรรยากาศไปยังส่วนรากพืชได้ ส่งผลทำให้ชั้นกรองในบริเวณที่รากพืชยึดเกาะไม่เกิดสภาพไร้อากาศ หน้าที่และบทบาทสำคัญ ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียของพืชประเภทนี้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.2** หน้าที่ของพืชโผล่เหนือน้ำในระบบบึงประดิษฐ์ (ประกายธรรม, 250)

| ส่วนประกอบของพืช | บทบาทในกระบวนการบำบัด |
|---|---|
| ส่วนที่อยู่เหนือน้ำ | - ลดความเข้มของแสง เพื่อลดการเจริญเติบโตของไฟโตแพลงตอน<br>- ป้องกันอิทธิพลจากสภาพอากาศในฤดูหนาว<br>- ลดความเร็วลมเพื่อป้องกันการแขวนลอยของตะกอน<br>- ช่วยให้ระบบดูสวยงาม<br>- สะสมอาหาร |
| ส่วนที่อยู่ใต้น้ำ | - ลดความเร็วกระแสน้ำ เพิ่มอัตราการตกตะกอน ลดการฟุ้งกระจายของตะกอนใต้น้ำ<br>- กรองตะกอนขนาดใหญ่<br>- เป็นพื้นที่ผิวสำหรับการจับของไบโอฟิล์ม<br>- ปล่อยออกซิเจนเพื่อการสังเคราะห์แสง ช่วยเพิ่มการย่อยสลายโดยออกซิเจน<br>- ดูดซับสารอาหาร |
| รากและระบบรากพืชในชั้นตะกอนใต้น้ำ | - ทำให้ผิวตะกอนใต้น้ำถูกกัดเซาะน้อย<br>- ป้องกันการอุดตันของตัวกลางในระบบการไหลในแนวดิ่ง<br>- ปล่อยออกซิเจนเพื่อเพิ่มการย่อยสลาย และการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน<br>- ดูดซับสารอาหาร<br>- ปล่อยสารปฏิชีวนะ (Antibiotic) |

### 2.5.3 กลไกการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์

การกำจัดมลสารในบึงประดิษฐ์ประกอบด้วยกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพที่ทำงานสัมพันธ์กัน กลไกหลักที่พบได้แก่ การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Biochemical conversions) การตกตะกอน (Settling) และการกรอง (Filtration) การสะสมในดิน (Accretion) การระเหย (Volatilization) การดูดซับ (Adsorption) การระเหยทางใบ (Evapotranspiration) และการนำไปใช้โดยพืช (Plant uptake) การกำจัดสารปนเปื้อนต่างๆ ในน้ำทิ้งต้องอาศัยกลไกต่างๆ ประกอบกันดังนี้

1. การกำจัดของแข็งแขวนลอย

ของแข็งที่สามารถตกตะกอนได้ จะถูกกำจัดโดยกระบวนการตกตะกอนและการกรองภายในบริเวณไม่ไกลจากจุดที่ปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบ โดยเฉพาะบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินตะกอนที่สะสมอยู่อาจทำให้ระบบอุดตันได้ ดังนั้น จึงควรมีการกรองเพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอยขนาดใหญ่ออกก่อนเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์ ของแข็งที่ไม่ตกตะกอนจะถูกกำจัดในบริเวณต่อมาด้วยการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และการดูดติดผิว เช่น ส่วนของพืช ดิน ทราย รวมทั้งการรวมตัวของกลุ่มตะกอน

2. การกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด

การกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเกิดจากกระบวนการหลักที่เรียกว่า ไนตริฟิเคชันและดิไนตริฟิเคชัน โดยไนตริฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนไนโตรเจนทั้งหมดที่อยู่ในรูปแอมโมเนียไปเป็นไนโตรเจนทั้งหมดในรูปไนเตรทภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ดังสมการ 2.1 และ 2.2

$$NH_3 + O_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} NO_2^- + 3H^+ + 2e^- \quad (2.1)$$

$$NO_2^- + H_2O \xrightarrow{\text{Nitrobactor}} NO_3^- + 3H^+ + 2e^- \quad (2.2)$$

ปัจจัยควบคุมกระบวนการไนตริฟิเคชันคือ อุณหภูมิ พีเอช ความเป็นด่างของน้ำ ความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ ความหนาแหน่นของจุลินทรีย์ ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดและออกซิเจนละลายน้ำ โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 25-40 องศาเซลเซียส ช่วงพีเอชที่เหมาะสมคือ 6.8-7.5 และต้องการออกซิเจนละลายน้ำ 4.3 มิลลิกรัมต่อ 1 มิลลิกรัมของการเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดเป็นไนเตรทไนโตรเจนทั้งหมด

ดิไนตริฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนไนเตรทไนโตรเจนทั้งหมดให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนทั้งหมด จะเกิดได้ในสภาพที่ไม่มีออซิเจนละลายน้ำ ดังสมการ 2.3

$$2NO_3^- + 10e^- + 2H^+ \longrightarrow N_2 + 6H_2O \quad (2.3)$$

การกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดโดยทั้งสองกระบวนการนี้เกิดขึ้นในระบบที่มีออกซิเจนร่วมกับไม่มีออกซิเจน เช่น ดินที่มีน้ำท่วมขัง

การเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia volatilization) เป็นการเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดไปเป็นแอมโมเนียไอออน ซึ่งจะมีการเปลี่ยนกลับไปกลับมาขึ้นอยู่กับพีเอชที่พีเอช 9.3 อัตราส่วนระหว่างแอมโมเนียกับแอมโมเนียมไอออนจะเป็น 1:1 ทำให้สามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้มาก กระบวนการนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับพีเอชและความเข้มข้นของ

แอมโมเนียมไอออนในน้ำแล้ว ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเร็วลม แสงแดด พืช และความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำ

แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) เป็นการเปลี่ยนไนโตรเจนทั้งหมดในสารอินทรีย์ซึ่งพบในรูปกรดอะมิโนให้เป็นแอมโมเนีย โดยจุลินทรีย์และใช้พลังงานที่ได้จากการเกิดแอมโมนิฟิเคชันมาใช้ในการเจริญเติบโต ส่วนไนโตรเจนทั้งหมดในรูปยูเรีย และกรดยูริกจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นแอมโมเนียดังสมการ 2.4

$$CO(NH_2)_2 + H_2O \longrightarrow 2NH_3 + CO_2 \qquad (2.4)$$

อัตราการเกิดกระบวนการนี้จะลดลงตามปริมาณออกซิเจนและขึ้นกับอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 40-60 องศาเซลเซียลและพีเอชที่เหมาะสมคือ 6.5-8.5

การนำไปใช้โดยพืชเป็นการเปลี่ยนไนโตรเจนทั้งหมดในรูปแอมโมเนียและไนเตรทไปเป็นสารอินทรีย์ในเซลล์ของพืช อัตราการนำไปใช้ถูกกำจัดโดยอัตราการเจริญเติบโตของพืชและความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อพืช เมื่อพืชตายไนโตรเจนทั้งหมดจะถูกปล่อยกลับสู่ระบบ ดังนั้น จึงควรมีการเก็บเกี่ยวพืชออกจากระบบเป็นระยะๆ

การดูดซับเป็นการกำจัดแอมโมเนียมไอออน ซึ่งมีประจุบวกโดยดูดซับกับประจุลบของซากพืช สารอินทรีย์ที่ตกตะกอนและตัวกลาง แต่เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนลดลงก็จะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเพื่อปรับให้ระบบสมดุล ในระบบที่มีการจ่ายน้ำเสียแบบต่อเนื่องจะเกิดปฏิกิริยากลับไปกลับมาทำให้ความเข้มเข้นของแอมโมเนียมไอออนไม่ลดลง แต่ในระบบที่จ่ายน้ำเสียแบบไม่ต่อเนื่องพบว่าในช่วงที่ไม่จ่ายน้ำเสียความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการถูกดูดซับ ซึ่งแอมโมเนียมไอออนที่ถูกดูดซับจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรทต่อไป

3. การกำจัดฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสที่ปรากฏในน้ำเสียมักอยู่ในรูปออร์โธฟอสเฟต พอลีฟอสเฟต และฟอสเฟตในรูปสารอินทรีย์ ฟอสฟอรัสที่มีวาเลนซ์ +5 จะมีการเปลี่ยนรูปกลับไปมาระหว่างรูปอนินทรีย์และอินทรีย์ กลไกลหลักในการกำจัดฟอสฟอรัสในระบบบึงประดิษฐ์ ได้แก่ การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Biological oxidation) การดูดซับ (Absorption) การดูดซึมโดยพืช (Plant absorption) การเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complexation) และการตกตะกอนผลึก (Precipitation) จุลินทรีย์บางชนิดสามารถเปลี่ยนรูปอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำเป็นออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ ในขณะที่จุลินทรีย์อีกกลุ่ม เช่น แบคทีเรีย (เช่น *Bacillus subtilis, Arthrobacter* sp.) แอกทิโนมัยซีส

(เช่น *Streptomyces* sp.) และฟังใจ (เช่น *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp.) สามารถเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้เป็นออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ ออร์โธฟอสเฟตนี้จะถูกทิ้งแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ใช้เป็นธาตุอาหารต่อไป สำหรับฟอสฟอรัสในรูปที่ไม่ละลายน้ำ และสะสมอยู่ในตะกอนดินบริเวณก้นบึงจะถูกจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งเปลี่ยนให้เป็นรูปอินทรีย์ฟอสเฟตที่ละลายน้ำ ซึ่งพืชชั้นสูงสามารถนำไปใช้ได้

กลไกการดูดซับและระยะเวลากักเก็บฟอสฟอรัสในบึงประดิษฐ์ ถูกควบคุมโดย Redox Potential พีเอช ปริมาณธาตุเหล็ก อลูมิเนียม แคลเซียม และธรรมชาติของตะกอนดิน ในดินที่เป็นกรดฟอสฟอรัสจะถูกดูดซับโดยสารประกอบออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม แล้วตกตะกอนผลึกเป็นเหล็กฟอสเฟต (Fe-P) และอลูมิเนียมฟอสเฟต (Al P) แต่ที่พีเอชสูงกว่า 7 จะเกิดตะกอนผลึกของแคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P) มากกว่า ความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของตะกอนดินสามารถประมาณได้จากปริมาณอลูมิเนียมในตะกอนดินที่ Redox Potential ต่ำกว่า 250 มิลลิโวลต์ จำทำให้ $Fe^{3+}$ เปลี่ยนเป็น $Fe^{2+}$ แล้วปล่อยฟอสฟอรัสออกมา แต่กลับทำให้อลูมิเนียมและเหล็กอยู่ในรูปผลึกที่ไม่ละลายน้ำและดูดติดฟอสฟอรัสได้ดีขึ้น กลไกลสำคัญก็คือ ปฏิกิริยาการเปลี่ยนลิแกน (Ligan exchange reaction) โดยฟอสเฟตจะเข้าไปแทนที่น้ำที่อยู่ในสารประกอบออกไซด์ของเหล็ก และอลูมิเนียม แต่ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่า กลไกการตกตะกอนผลึก หรือการเปลี่ยนลิแกนเป็นกลไกหลักในการกำจัดฟอสฟอรัส พืชจะดูดซึมฟอสฟอรัสผ่านทางรากแล้วลำเลียงไปใช้สร้างเนื้อเยื่อต่อไป แต่ยังคงมีปริมาณต่ำเมื่อเทียบกับการดูดซึมไนโตรเจนทั้งหมด สังเกตจากปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชต่ำกว่าไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสถูกปล่อยสู่ระบบเมื่อพืชตายลง ดังนั้นควรเก็บพืชที่ตายออกจากระบบ

4. การกำจัดโลหะหนัก

โลหะหนักพบในรูปสารละลายและองค์ประกอบของของแข็ง กลไกหลักในการจัดคือ การถูกดูดซับโดยตัวกลาง การตกตะกอนเคมีในรูปของเกลือซึ่งมักเกิดร่วมกับการกำจัดฟอสฟอรัสและการดูดซับของพืช กลไกเหล่านี้เกิดได้ดีกับโลหะหนักที่สามารถตกตะกอนได้

5. การกำจัดเชื้อโรค

การกำจัดเชื้อโรคในระบบประกอบด้วยวิธีทางภาพ เช่น การตกตะกอน การกรอง และการถูกทำลายโดยรังสีอัลตราไวโอเลต วิธีทางเคมี ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน การดูดซับโดยอินทรีย์หรือวัตถุ และสารพิษที่พืชบางชนิดปล่อยออกมา ส่วนวิธีทางชีวภาพประกอบด้วย การตาย

ตามธรรมชาติ (Natural Die-off) การกินกันเอง (Predation) และสารปฏิชีวนะที่สิ่งมีชีวิตอื่นปล่อยออกมา

**2.5.4 พืชที่ใช้ในการศึกษา**

**ต้นธูปฤาษี** (รูปที่ 2.6) ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Typha angustifolia* L. ชื่อวงศ์ คือ Typhaceae และชื่อสามัญ คือ Cat-tail, Elephant grass, Lesser reedmace, Narrow-leaved Cat-tail ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ วัชพืชล้มลุก อายุประมาณ 2 ปี สูงประมาณ 1.5 - 2 ม. เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ชุ่มน้ำ ธูปฤาษีมีระบบรากที่ดี ช่วยป้องกันการพังทลายของดินชายน้ำ สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุคลุมผิวดินในไม้ยืนต้น สวนไม้ผลต่างๆ เพื่อลดการสูญเสียความชื้นออกจากผิวดิน หรือลดการชะล้างหน้าดินจากน้ำฝนได้ ธูปฤาษีสามารถกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียในที่ลุ่มต่อไร่ได้ถึง 400 กก. ต่อปี และสามารถดูดเก็บโพแทสเซียมต่อไร่ได้ถึง 690 กก. ต่อปี จึงเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่จะมีบทบาทเป็นพืชเศรษฐกิจในอนาคต สามารถออกดอกได้ตลอดปี

**ประโยชน์จากต้นธูปฤาษี** ธูปฤาษีมีระบบรากที่ดี ช่วยป้องกันการพังทลายของดินชายน้ำ สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุคลุมผิวดินในไม้ยืนต้น สวนไม้ผลต่างๆ เพื่อลดการสูญเสียความชื้นออกจากผิวดิน หรือลดการชะล้างหน้าดินจากน้ำฝนได้ ใบเหนียวนิยมใช้มุงหลังคา ใช้ทำเครื่องจักสาน เช่น เสื่อ ตะกร้า เชือก ยอดอ่อนกินได้ทั้งสด และทำให้สุก

**รูปที่ 2.6** ต้นธูปฤาษี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 การบำบัดน้ำเสียด้วยผักตบชวา (สุรชัย มัจฉาชีพ, 2538)

**ผักตบชวา** (รูปที่ 2.7) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Eichornia crassipes* (Mart.) Solms ชื่อวงศ์ Pontederiaceae ชื่อสามัญ Water hyacinth, Floation water hyacinth เป็นวัชพืชน้ำที่มีอายุยืนหลายปี สูงประมาณ 30-40 เซนติเมตร มีลำต้นสั้น รากแตกออกจากลำต้นบริเวณข้อ รากมักมีสีม่วงดำเกิดจากสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ลำต้นแตกไหลเกิดเป็นลำต้นใหม่ติดต่อกันไป ใบออกเป็นกลุ่มรอบลำต้น (rosettes) ใบกว้างใหญ่ รูปร่างค่อนข้างกลม ส่วนฐานใบเว้าเข้าหาก้านใบ มีหูใบ ปลายใบมน ขนาดของใบและความยาวของก้านใบขึ้นกับสภาความอุดมสมบูรณ์ในบริเวณที่เจริญเติบโตอยู่ ส่วนของก้านใบจะพองออกภายในมีรูพรุนลักษณะคล้ายฟองน้ำ ช่วยพยุงให้ลำต้นลอยน้ำได้ ดอก ออกเป็นช่อชนิดสไปด์ ออกดอกได้ตลอดปี ในช่อหนึ่งๆ มีดอกย่อย 6-30 ดอก ก้านช่อดอกยาวประมาณ 15-30 เซนติเมตร กลีบเลี้ยงและกลีบดอกหลอมรวมกัน (periapts) มีสีม่วง มีจุดเหลืองตรงกลาง ส่วนฐานกลีบดอกหลอมรวมกันเป็นรูปกรวย ส่วนปลายแยกเป็น 6 กลีบ มีเกสรตัวผู้ 6 อัน เกสรตัวเมียเป็นเส้นบางๆ ที่ส่วนปลายเป็นตุ่มสีขาว ผล เป็นชนิดแคปซูล แบ่งเป็น 3 พู ภายในมีเมล็ดจำนวนมาก เมล็ดมีรูปร่างกลม พบขึ้นตามลำคลอง คลองชลประทาน หนองน้ำ และที่ชื้นแฉะมีน้ำขัง ขยายพันธุ์โดยอาศัยเมล็ด และส่วนของลำต้น

**รูปที่ 2.7** ผักตบชวา

**ประโยชน์ของผักตบชวา** ใช้เป็นอาหารสัตว์ (เลี้ยงสุกร) ใช้ทำปุ๋ยหมัก ทำผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเขียว (โดยโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา) ยอด ใบ และดอกอ่อน ลวกจิ้มน้ำพริก หรือนำมาแกงส้ม นำมาจักสานเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ต่างๆ เช่น กระเป๋า กระจาด กระบุง กระเช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.1 หลักการบำบัดน้ำเสียของผักตบชวา

ในการใช้ผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสีย ควรมีพื้นที่เพียงพอในการให้ผักตบชวาเจริญเติบโต ซึ่งผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วเมื่อมีแสงแดดเพียงพอและอุณหภูมิของแหล่งน้ำไม่สูงเกินไป การดูแลระบบเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพดีนั้นควรทำการเปลี่ยนผักตบชวาในทุก 10 สัปดาห์ ซึ่งผักตบชวาสามารถช่วยในการบำบัดน้ำเสีย โดยการทำหน้าที่กรองน้ำที่ไหลผ่านกอผักตบชวาอย่างช้าๆ ทำให้ของแข็งแขวนลอยต่างๆ ที่ปนอยู่ในน้ำถูกสกัดกั้นกรองออก นอกจากนั้น ระบบรากที่มีจำนวนมากจะช่วยกรองสารอินทรีย์ที่ละเอียด และจุลินทรีย์ที่อาศัยเกาะอยู่ที่ราก จะช่วยดูดสารอินทรีย์ไว้ด้วยอีกทางหนึ่ง รากผักตบชวาจะดูดสารอาหารที่อยู่ในน้ำ ทำให้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจึงถูกกำจัดไป (โครงการบำบัดน้ำเสียบึงมักกะสันอันเนื่องจากพระราชดำริพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ, 2528)

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**ณัฐสรา และคณะ (2551)** ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง โดยใช้พืชสองชนิด คือ ต้นคล้าน้ำและต้นก้ามกุ้งสีทอง ตัวแปรที่ศึกษาคือชนิดของพืช และระดับความลึกของชั้นตัวกลาง โดยระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้เป็นระบบไหลตามกันที่อัตราการไหลของน้ำทิ้ง 0.007 ลิตรต่อนาที และระยะเวลากักเก็บ 5 วัน จากการทดลองพบว่าชนิดของพืชมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส โดยระบบที่ปลูกต้นคล้าน้ำมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสสูงกว่าระบบที่ปลูกต้นก้ามกุ้งสีทอง และระบบควบคุมที่ไม่ปลูกพืช โดยมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 79.23, 69.06 และ 61.74 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟตร้อยละ 78.04, 65.39 และ 64.92 ตามลำดับ และพบว่าการกำจัดฟอสฟอรัสส่วนใหญ่เกิดที่ระดับความลึกไม่เกิน 30 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระดับที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยพบว่าระบบที่ปลูกต้นคล้าน้ำ ต้นก้ามกุ้งสีทอง และระบบควบคุมมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ระดับ 30 เซนติเมตร ร้อยละ 76.87, 65.25 และ 60.02 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟตที่ระดับ 30 เซนติเมตร ร้อยละ 66.80, 57.20 และ 56.94 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สุชาดา (2543)** ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการลดค่า ซีโอดี (COD) ฟอสเฟตฟอสฟอรัส ($PO_4^{3-}$-P) สารแขวนลอย (SS) และสารที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS) ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียจากอาคารเรียนที่ 7 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (Sc.07) ที่มีค่าภาระชลศาสตร์เท่ากับ 0.01 ลบ.ม./ตร.ม./วัน (HRT1), 0.03 ลบ.ม./ตร.ม./วัน (HRT2) และ 0.05 ลบ.ม./ตร.ม./วัน (HRT3)ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพในการลดค่า ซี โอ ดี (COD) ของบึงประดิษฐ์มากที่สุดในHRT3 เท่ากับ 72.76% และในHRT2 ต่ำที่สุด เท่ากับ 61.94% ประสิทธิภาพในการลดค่าฟอสเฟตฟอสฟอรัส ($PO_4^{3-}$-P) ของบึงประดิษฐ์มากที่สุดในHRT1 เท่ากับ 79.63% และใน HRT3 ต่ำที่สุด เท่ากับ 71.38% ประสิทธิภาพในการลดค่าสารแขวนลอย (SS) ของบึงประดิษฐ์มากที่สุดในHRT3 เท่ากับ 51.92% และในHRT1 ต่ำที่สุด เท่ากับ 43.88% และประสิทธิภาพในการลดค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS) ของบึงประดิษฐ์มากที่สุดในHRT1 เท่ากับ 30.17% และในHRT2 ต่ำที่สุด เท่ากับ 23.45%

**ประกายธรรม (2550)** ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชนด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง โดยใช้พืช 2 ชนิด คือ ต้นคล้าน้ำและต้นกกร่ม ตัวแปรที่ศึกษา คือ ชนิดของพืช ค่าซีโอดีน้ำเสียสังเคราะห์ และระดับความลึกของชั้นตัวกลาง โดยควบคุมระยะเวลากักเก็บที่ 5 วัน จากการทดลองพบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 150 มก.ซีโอดี/ล. ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ของระบบที่ปลูกต้นคล้าน้ำ และต้นกกร่มมีค่าที่ใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 87, 87-91 และ 82 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 300 และ 500 มก. ซีโอดี/ล. พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสของระบบที่ปลูกต้นคล้าน้ำมากกว่าระบบที่ปลูกต้นกกร่ม เนื่องจากต้นคล้าน้ำมีรากยาว ทำให้ออกซิเจนสามารถแทรกผ่านไปในชั้นตัวกลางได้ดี ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน อีกทั้งยังเป็นพืชที่มีดอก ซึ่งใช้ฟอสฟอรัสในการออกดอก การศึกษาผลของความลึกต่อประสิทธิภาพการบำบัด พบว่าการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ส่วนใหญ่เกิดที่ระดับความลึกไม่เกิน 30 ซม. ซึ่งเป็นระดับที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยพบว่าระบบที่ปลูกต้นคล้าน้ำ และระบบที่ปลูกกกร่ม มีค่าการกำจัดร้อยละ 86, 88 และ 83 ตามลำดับ ผลการบำบัดน้ำเสียชุมชนจากท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ พบว่าระบบที่ปลูกต้นคล้าน้ำ และระบบที่ปลูกต้นกกร่มสามารถบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจน ได้ใกล้เคียงกัน คือร้อยละ 94 และ 99 ส่วนการ

กำจัดฟอสฟอรัสของระบบที่ปลูกต้นคล้าน้ำ บำบัดได้สูงกว่าระบบที่ปลูกต้นกกรัม คือร้อยละ 90 และ 82 ตามลำดับ

**พันธ์ทิพย์ (2556)** ศึกษาการใช้หญ้าอาหารสัตว์ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบ บึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง โดยศึกษาถึงประสิทธิภาพในการลดสารมลพิษโดยหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิด ได้แก่ หญ้าแพงโกล่า (*Digitaria decumbens*) หญ้าอะตราตั้ม (*Paspalum atratum*) และหญ้าขน (*Brachiaria mutica*) ที่ปลูกในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง รวมถึงศึกษาการเจริญเติบโต อัตราการสะสมธาตุอาหาร และผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิดในแต่ละระยะเก็บเกี่ยว โดยพบว่าระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษา ซึ่งมีอัตราการบรรทุกทางชลศาสตร์ เท่ากับ 20 cm/day หรือ 100.6 l/day มีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยมีประสิทธิภาพในการลด COD, TSS, TKN, $NH_4$ N, NOx-N และ TP เฉลี่ยเท่ากับ 70.42, 32.31, 80.48, 24.54, -932.48 และ 41.66% ตามลำดับ แม้แปลงหญ้าอะตราตั้ม จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการลด COD, TKN และ NOx-N และแปลงหญ้าขน จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการลด TSS, TP และ $NH_4$-N แต่ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพของหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิดในการลดสารมลพิษแต่ละประเภท มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$)

**มีศักดิ์ และคณะ (2549)** ศึกษาการบำบัดน้ำจากบ่อพักตะกอนไขมันโดยสูบน้ำด้านบนของบ่อไปบำบัดต่อด้วยระบบบึงประดิษฐ์ น้ำเข้าระบบ โดยใช้ปั๊มสูบเข้าอย่างต่อเนื่อง ในช่วงระยะประมาณ 50 เมตรแรกของระบบบึงประดิษฐ์ช่วงต้นของบ่อจะมีสภาวะไร้อากาศ เนื่องจากน้ำที่เข้าระบบมีค่า BOD สูง ขณะที่ช่วงท้ายของบึงประดิษฐ์ ประมาณ 100 เมตร จากจุดรับน้ำพบสาหร่ายเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ตามปริมาณสารอาหารที่เพิ่มขึ้น เช่น $NH_4$ , $NO_3$-N , TP ส่วนหนึ่งของไอออนเหล่านี้อาจถูกนำไปใช้โดยพืช โดยเฉพาะTP และอาจถูกดูดซับบนตัวกลาง

**Puetpaiboon (2003)** ได้ทำการศึกษาการใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบผสมผสานในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอบ/รมยาง น้ำเสียจากการผลิตยางแผ่นรมควันมีสารอินทรีย์ในปริมาณสูง โดยทดลองบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราภาระบรรทุกซีโอดี ต่างกัน คือ 750, 1000, 1250 และ 1500 กิโลกรมซีโอดี/(แฮกแตร์.วัน) ระบบบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อประกอบด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดินในแนวดิ่ง และตามด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน โดยปลูกต้นธูปฤาษี จากการทดลองพบว่า มีเพียงบึงประดิษฐ์แบบไหลบนผิวดินที่อัตราภาระบรรทุก 750 และ 1000 กิโลกรมซีโอดี/(แฮกแตร์.วัน) และบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดินที่อัตราภาระบรรทุก 750 กิโลกรมซีโอดี/(แฮกแตร์.วัน) เท่านั้นที่น้ำเสียผ่านการบำบัดแล้วได้มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม ทุกตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปร หากพิจารณาในแง่ของประสิทธิภาพการกำจัดมลสาร พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด $BOD_5$, COD, SS, TKN และ $NH_3$-N สูงกว่าร้อยละ 90 สำหรับ TP ซัลเฟต และ TDS มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าร้อยละ 50 นอกจากนี้ ยังพบว่าบึงประดิษฐ์แบบไหลในแนวดิ่งกำจัด $BOD_5$, COD, SS ซัลเฟต และ TDS ได้ดี ส่วนบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน กำจัด TKN, $NH_3$-N และ TP ได้ดีกว่า

**Yi และคณะ (2009)** ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนในบ่อผักตบชวาซึ่งรับน้ำจากบ่อปรับเสถียร โดยมีพารามิเตอร์ 6 ตัวสำคัญคือ อินทรีย์ไนโตรเจนแขวนลอย (PON) , อินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ (DON), แอมโมเนียม ($NH_4^+$) ซีโอดีที่ละลายน้ำ (SCOD) ซีโอดีแขวนลอย (PCOD) ไนไทรตและไนเทรต ($NO_x$) โดยออกแบบระบบ 2 ชุด คือ บ่อควบคุม (WSPs) และบ่อผักตบชวา(WHPs) แต่ละชุดแบ่งเป็น 4 ช่อง เก็บน้ำแต่ละช่องไปวิเคราะห์หา TN ,$NH_4$-N, $NO_2$-N, $NO_3$-N,COD 3 ครั้ง/1สัปดาห์ขณะที่พารามิเตอร์SS ,pH ,DO วัดทุกวัน ผลการศึกษาพบว่า ในบ่อ WSPsและ WHPsมีค่า TN , $NH_4$ ลดลงตามระยะเวลาที่ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนขึ้นกับสภาวะมีออกซิเจน-ไร้ออกซิเจนและปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่เติมเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น อุณหภูมิ , DO , HRT

**Wang และคณะ (2013)** ตรวจวัดปริมาณ TN และ TP ในแม่น้ำ Dianchi มีพื้นที่ประมาณ 10.5 ตารางกิโลเมตร มีความลึกเฉลี่ย 2.5 เมตรที่ไหลผ่านเมือง Dongfengba, Neicaohai, Waicaohaic และ Laoganyutang ในเดือนพฤษภาคม ค.ศ.2011 โดยนำผักตบชวาที่ปลูกบนภาชนะพลาสติกและโฟม คลุมด้วยตาข่าย ไปลอยในแม่น้ำที่ตำแหน่งต่างๆที่ศึกษา พบว่าผักตบชวาเจริญเติบโตได้ดีโดยอาศัยสารอาหารในแม่น้ำ เจริญเติบโตคลุมพื้นที่ 4.3 ตารางกิโลเมตร ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ความลึกต่างๆ นำมาผสมกัน เพื่อวิเคราะห์หาค่า TN ,$NH_4$ -N , $NO_3$-N และตรวจวัดอุณหภูมิ DO พบว่า ค่า DO เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ $NH_4$ ลดลงโดยอาจเกิดจากกระบวนการ ไนตริฟิเคชั่น/ดิไนตริฟิเคชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

# วิธีดำเนินงานวิจัย

## 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

### 3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถังทรงกระบอกขนาดจุ 185 ลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 57 เซนติเมตร สูง 72 เซนติเมตร
2. กะละมังขนาดจุ 66.7 ลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55.7 เซนติเมตร ลึก 27.4 เซนติเมตร
3. ไม้ยูคา
4. พลาสติกใสขนาดกว้าง 210 เซนติเมตร ยาว 270 เซนติเมตร
5. เครื่องกลั่นเจดาล์ห ยี่ห้อ Gerhardt
6. เครื่องวัดพีเอช ยี่ห้อ Consort รุ่น C860
7. เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) บริษัท Jenway รุ่น 9200 ประเทศอังกฤษ
8. เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า ยี่ห้อ Consort รุ่น C860
9. เครื่องสเปกโตโฟโตรมิเตอร์ UV-Vis รุ่น He $\lambda$ios $\alpha$ (double beam) บริษัท Thermo electron corporation
10. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AUX220
11. เครื่องให้ความร้อน (Hot plate) ยี่ห้อ Fisher Scientific
12. เครื่องแก้ว
13. อุปกรณ์สำหรับไทเทรต
14. ขวดพลาสติกใส่สารตัวอย่าง

### 3.1.1 สารเคมี

1. แอนไฮดรัสโปแตสเซียมไนเทรต ($KNO_3$) บริษัท MERCK เกรดวิเคราะห์
2. บรูซีนซัลเฟต (Brucine Sulfate) บริษัท MERCK เกรดวิเคราะห์
3. กรดซัลฟานิลิค (Sulfanilic Acid) บริษัท MERCK เกรดวิเคราะห์
4. กรดซัลฟูลิกเข้มข้น ($H_2SO_4$) บริษัท MERCK เกรดวิเคราะห์
5. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) บริษัท MERCK เกรดวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. แอนติโมนิลโพตัสเซียมตาร์เตรท ($K(SbO)C_4H_4O_6.0.5H_2O$) บริษัท MERCK เกรดวิเคราะห์
7. แอมโมเนียมโมลิบเดต ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$)) บริษัท MERCK เกรดวิเคราะห์
8. กรดแอสคอร์บิก บริษัท MERCK เกรดวิเคราะห์
9. กรดไนตริก ($HNO_3$) บริษัท MERCK เกรดวิเคราะห์
10. แอนไฮดรัส ($KH_2PO_4$) บริษัท J.T. Baker Co.,Ltd.เกรดวิเคราะห์
11. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท J.T. Baker Co.,Ltd.เกรดวิเคราะห์
12. เมธิลเรด บริษัท MERCK เกรดวิเคราะห์
13. เมธีลีนบลู บริษัท MERCK เกรดวิเคราะห์
14. เอธิลแอลกอฮอล์ ($CH_3CH_2OH$) บริษัท MERCK เกรดวิเคราะห์
15. กรดบอริก ($H_3BO_3$) บริษัท MERCK เกรดวิเคราะห์
16. โซเดียมเทตระบอเรต ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) บริษัท MERCK เกรดวิเคราะห์
17. ฟีนอล์ฟทาลีน บริษัท MERCK เกรดวิเคราะห์

## 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.2.1 น้ำทิ้งที่ใช้ในการศึกษา

น้ำทิ้งที่ใช้ในการศึกษา คือน้ำจากบ่อพักน้ำ (Effluent) ที่ผ่านการบำบัดแล้ว ก่อนที่จะถูกปล่อยลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะ จากโรงพยาบาลสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ

### 3.2.2 พืชที่ใช้ในการศึกษา

แหล่งที่มาและการเตรียมพืชเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง คือ

1. ผักตบชวา (*Eichorniacrassipes (Mart.) Solms)* เก็บจากคลองสามประเวศ บริเวณข้างวัดบำรุงรื่น แล้วนำมาเพาะเลี้ยงในอ่างจำลองด้วยน้ำฝนจากธรรมชาติ เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ แล้วนำต้นที่มีการเจริญเติบโตดีมีขนาดลำต้นเท่าๆกัน โดยน้ำหนักเริ่มต้น 0.3-0.4 กิโลกรัม ขนาดลำต้น 15 เซนติเมตรมาทำการทดลอง

2. ต้นธูปฤาษี *(Typhaangustifolia L.)* เก็บจากบริเวณหนองพื้นที่ว่างเปล่า บริเวณซอยร่มเกล้า 23 แขวงคลองสามประเวศ เขตลาดกระบัง โดยเลือกต้นที่มีลำต้นที่ความแข็งแรง ใบสีเขียวสด ขนาดลำต้นเท่าๆกัน และมีความสูงประมาณ 1.5 เมตร นำมาแช่ในอ่างที่รองน้ำฝนจากธรรมชาติไว้เป็นระยะเวลา 2 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.2.3 การเตรียมการบำบัดและการเติมน้ำทิ้ง**

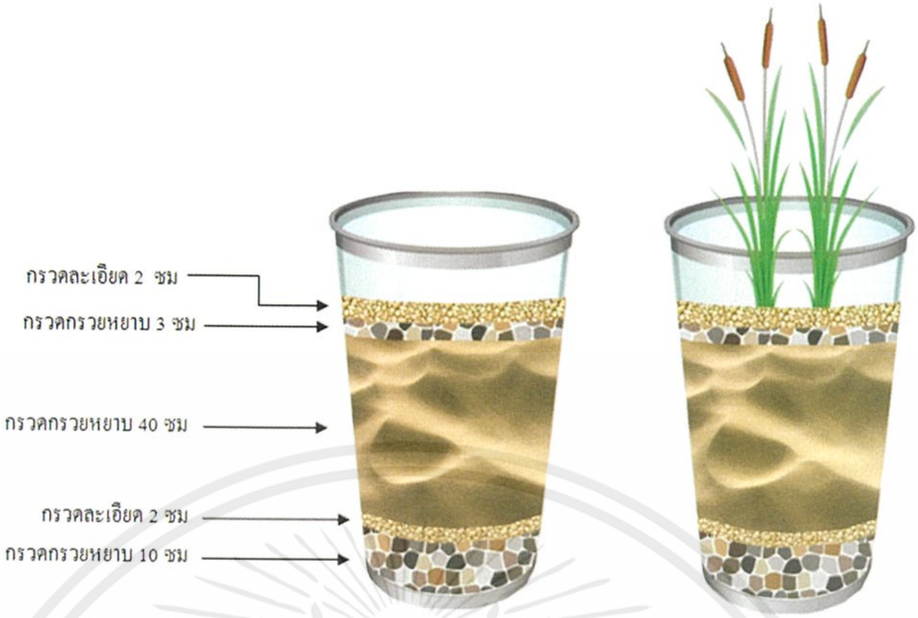
1. การบำบัดด้วยผักตบชวา

ในการทดลองนี้จะใช้ภาชนะพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร มีความลึก 27.5 เซนติเมตร ซึ่งจะสามารถบรรจุน้ำได้ประมาณ 70 ลิตร จำนวน 6 ใบ โดยภาชนะทั้งหมดจะถูกวางอยู่ ณ ตำแหน่ง ที่ได้รับแสงอย่างเต็มที่ มีการวางเรียงติดกันเป็น 2 แถว แถวละ 3 ใบ แล้วมีการคลุมด้วยพลาสติกใส ที่สูงพ้นภาชนะ 60 เซนติเมตร นำผักตบชวาที่คัดเลือกแล้วมาใส่ภาชนะที่เตรียมไว้ จำนวน 5 ใบ ใบที่ 1-5 ใช้สัญลักษณ์ $H_1$,$H_2$,$H_3$,$H_4$ และ $H_5$ และมีภาชนะควบคุม (C) อีก 1 ใบ ที่ไม่ได้ใส่ผักตบชวาลงไป แต่มีการเติมน้ำในปริมาณที่เท่ากับภาชนะ $H_1$-$H_5$

2. การบำบัดด้วยต้นธูปฤาษี

ในการทดลองนี้จะใช้ถังพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์การ 57 เซนติเมตร มีความลึก 72 เซนติเมตร ซึ่งจะสามารถบรรจุน้ำได้ประมาณ 185 ลิตร จำนวน 2 ใบ เจาะรูถังทั้ง 2 ใบ ที่ความสูง 15 เซนติเมตร จากก้นของถัง แล้วต่อก๊อกชนิดที่สามารถเปิด-ปิดได้ด้วยมือแล้วนำผ้าขาวบางมาคลุมที่ท่อด้านในเพื่อป้องกันการหลุดรอดของหินทำการบรรจุชั้นของหิน โดยเริ่มจากบรรจุทรายกรวยหยาบ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10 มิลลิเมตร ให้มีความสูง 8 เซนติเมตร จากก้นถัง บรรจุต่อด้วยกรวดละเอียด ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ให้มีความสูง 2 เซนติเมตร แล้วบรรจุต่อด้วยทรายหยาบ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-1 มิลลิเมตร ให้มีความสูง 40 เซนติเมตร บรรจุต่อด้วยกรวดหยาบ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ให้มีความสูง 3 เซนติเมตร และ บรรจุต่อด้วยกรวดทรายหยาบ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ให้มีความสูง 2 เซนติเมตร (กรวด ทราย ก่อนนำมาใช้ต้องล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา ก่อนใส่ลงในถัง ดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.1** วัสดุต่างๆที่ใช้ในการบำบัดด้วยถังธูปฤาษี

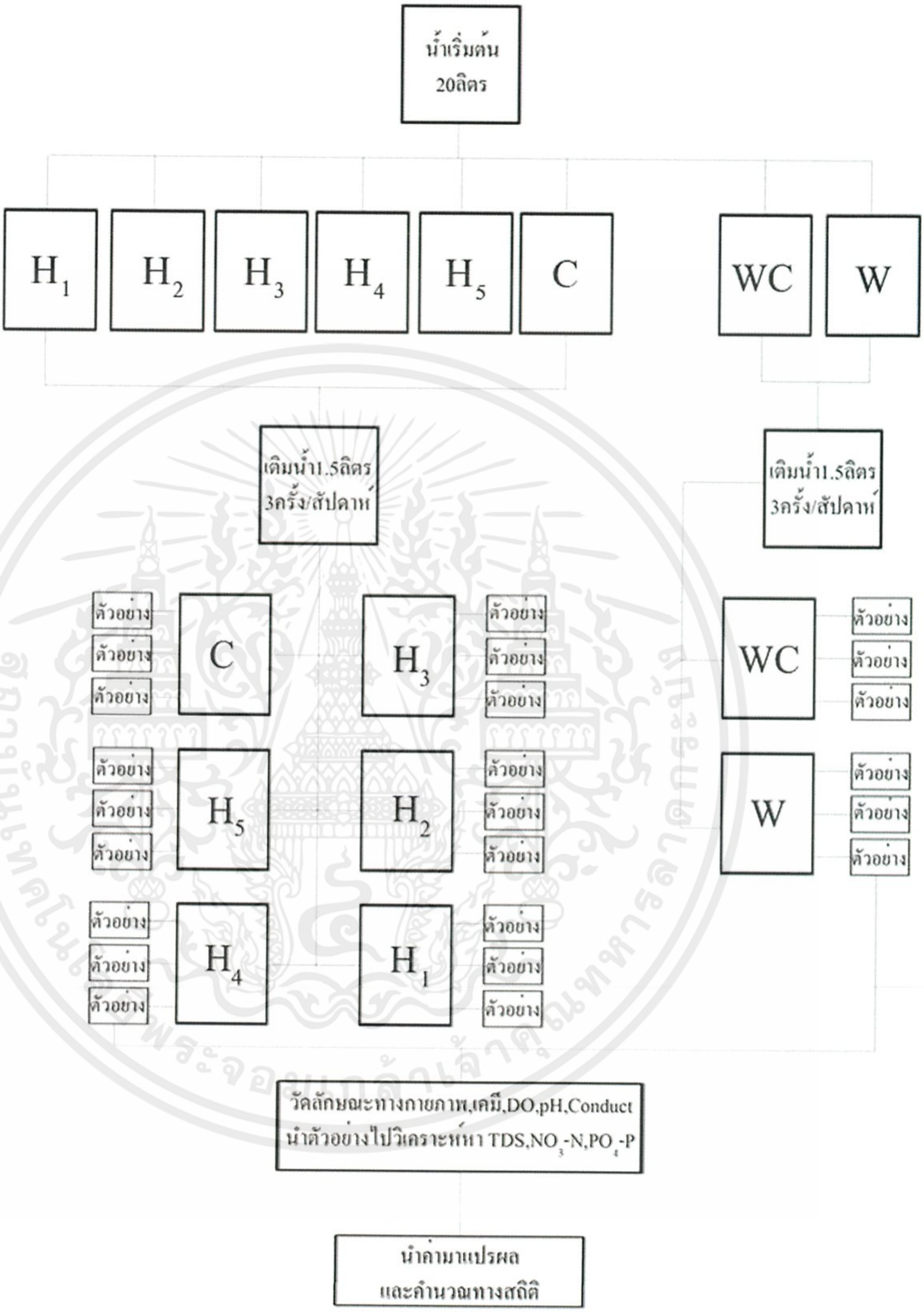
โดยถังใบที่ 1 เป็นถังควบคุม (WC) คือไม่ปลูกต้นธูปฤาษี ใบที่ 2 จะปลูกต้นธูปฤาษีจำนวน 2 ต้น โดยปลูกลงบริเวณชั้นของทรายหยาบ บริเวณกึ่งกลางชั้นทราย

2. การเก็บตัวอย่างน้ำ

การบำบัดด้วยผักตบชวาเริ่มต้นด้วยการเติมน้ำลงภาชนะพลาสติกจำนวน 6 ใบ ใบละ 20 ลิตร ใบที่ 1 (C) คือ ภาชนะควบคุม ใบที่ 2-5 ($H_1$-$H_2$) คือ ภาชนะที่ใส่ผักตบชวา จำนวนละ 3 ต้น และทำการเติมน้ำทิ้งจำนวน 1.5 ลิตร สัปดาห์ละ 3 ครั้ง เป็นเวลา 7 สัปดาห์ สำหรับน้ำหลังผ่านการบำบัดทำการเก็บน้ำจากภายในภาชนะสัปดาห์ละครั้ง จำนวน 4.5 ลิตร

การบำบัดด้วยต้นธูปฤาษี หลังจากเตรียมกรวด ทราย เรียบร้อยแล้ว เติมน้ำเข้าถังพลาสติก 2 ใบ ใบที่ 1 (WC) คือถังทรายควบคุม และใบที่ 2 (W) คือถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษี สำหรับน้ำหลังผ่านการบำบัดเก็บ โดยเปิดน้ำให้ไหลออกจากถังมาเข้าภาชนะใหม่และเก็บน้ำในปริมาณเท่าๆกับการบำบัดด้วยผักตบชวา แล้วจึงเติมน้ำเข้าระบบใหม่ ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.2** วิธีการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล**

**ตารางที่ 3.1** พารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำทิ้งที่เติมเข้าและน้ำออก

| ลำดับ | พารามิเตอร์ | วิธีและเครื่องมือวิเคราะห์ |
|---|---|---|
| 1 | อุณหภูมิ | เทอร์โมมิเตอร์ |
| 2 | ค่าพีเอช | เครื่องวัดพีเอช |
| 3 | ค่าสภาพนำไฟฟ้า (EC) | เครื่องวัดการนำไฟฟ้า |
| 4 | ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) | เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ |
| 5 | ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (TDS) | ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง (AWWA, 2012) |
| 6 | ออโธฟอสเฟต ($PO_4$-P) | เทียบสีกับกรดแอสคอบิก (AWWA, 2012 ) |
| 7 | อินทรีย์ไนโตรเจน (Org-N) | ใช้การย่อย กลั่นและไทเทรต (AWWA, 2012 ) |
| 8 | ไนเทรต-ไนโตรเจน ($NO_3$-N) | เทียบสีกับบลูซีน (AWWA, 2012 ) |
| 9 | แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($NH_4$-N) | ใช้การกลั่นและไทเทรต (AWWA, 2012 ) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

# ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำน้ำทิ้ง (Effluent) จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลสมุทรปราการมาบำบัดของแข็งที่ละลายน้ำ (TDS) ไนเทรตไนโตรเจน ($NO_3$-N) และออโธฟอสเฟต ($PO_4$-P)ด้วยการใช้ผักตบชวาและถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษี โดยเติมน้ำทิ้งเข้าระบบทั้งสอง เป็นเวลาทั้งหมด 60 วัน ทำการวัดพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำที่เติมเข้าระบบ (Influent) และน้ำในภาชนะที่ใส่ผักตบชวา (H) น้ำในภาชนะควบคุม (C) และน้ำที่ไหลออกจากถังทรายควบคุม (WC) ถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษี (W) โดยเก็บน้ำสัปดาห์ละครั้ง

## 4.1 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของพืชและลักษณะทางเคมีของน้ำทิ้ง

จากผลการศึกษา พบว่าผักตบชวาเจริญเติบโตได้ดีในช่วง 7-35 วันหลังจากนั้นใบเริ่มเหี่ยว ไม่แตกหน่อเพิ่ม เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำในภาชนะที่เลี้ยงผักตบชวาสูงถึง $36^0$ ซ มีผลทำให้ผักตบชวาเหี่ยวเฉา และตายบางส่วนดังตารางที่ 4.1 ขณะที่ค่าพีเอชและค่าดีโอของน้ำใน ภาชนะควบคุม (C) และภาชนะที่ใส่ผักตบชวา (H) มีค่าเพิ่มขึ้นแปรตามระยะเวลาที่ศึกษา ซึ่งอาจเกิดจากขบวนการสังเคราะห์แสง โดยในภาชนะควบคุม (C) พบสาหร่ายจำนวนมาก ในขณะที่ระบบที่บำบัดโดยผ่านน้ำลงในถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษี พบว่าต้นธูปฤาษีมีการเจริญเติบโตได้ดีตลอดระยะเวลาที่ศึกษา สำหรับค่า พีเอช ในน้ำที่หลังผ่านถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษี (W) และถังทรายควบคุม (WC) มีค่าใกล้เคียงกับน้ำที่เติมลงในระบบ (Influent) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 7.34-7.71 ขณะที่ค่าดีโอ จะมีค่าลดลงตามระยะเวลาที่ผ่านน้ำลงในถังทั้ง 2 ใบ (ดังตารางที่ 4.1)

หมายเหตุ : C = ภาชนะควบคุม

H = ภาชนะใส่ผักตบชวา

WC = ถังทรายควบคุม

W = ถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษี

Inf = น้ำเข้าระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1** การเจริญเติบโตของพืชและลักษณะทางเคมีของน้ำทิ้ง

| ผลการทดลองการเจริญเติบโต | จำนวนวันที่ศึกษา (วัน) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 56 |
| **-ผักตบชวา** | | | | | | | |
| จำนวนหน่อ (หน่อ) | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 |
| จำนวนใบ (ใบ) | 10 | 14 | 18 | 20 | 21 | 18 | 10 |
| ความยาวของราก (ซม.) | 7 | 8 | 10 | 13 | 14 | 13 | 12 |
| **-ต้นธูปฤาษี** | | | | | | | |
| จำนวนต้น (ต้น) | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 |
| จำนวนใบ (ใบ) | 7 | 8 | 10 | 11 | 13 | 15 | 19 |
| ความยาวของลำต้น (ซม.) | 1.2 | 10 | 1.5 | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 |
| อุณหภูมิ(°C) | | | | | | | |
| Influent | 30.50 | 32.10 | 31.00 | 30.60 | 36.10 | 32.50 | 30.60 |
| C | 30.00 | 30.10 | 30.60 | 30.20 | 35.80 | 36.40 | 32.80 |
| H | 29.56 | 31.32 | 30.96 | 29.82 | 35.52 | 36.70 | 31.22 |
| WC | 30.00 | 33.50 | 32.10 | 32.60 | 36.20 | 35.50 | 30.80 |
| W | 30.10 | 32.90 | 31.20 | 30.70 | 36.20 | 34.80 | 30.70 |
| ค่าpH | | | | | | | |
| Influent | 6.59 | 7.07 | 7.17 | 7.09 | 6.85 | 7.22 | 7.01 |
| C | 8.96 | 9.92 | 9.63 | 10.42 | 10.51 | 10.40 | 9.97 |
| H | 7.69 | 9.14 | 9.14 | 9.53 | 9.36 | 9.70 | 10.09 |
| WC | 7.67 | 7.62 | 7.57 | 7.73 | 7.71 | 7.79 | 7.72 |
| W | 7.68 | 7.59 | 7.50 | 7.53 | 7.34 | 7.37 | 7.31 |
| ค่าDO (mg/L) ที่อุณหภูมิ $25^0$ซ | | | | | | | |
| Influent | 6.57 | 5.40 | 5.37 | 4.44 | 4.03 | 5.47 | 6.18 |
| C | 8.68 | 8.80 | 8.48 | 8.62 | 7.34 | 7.05 | 9.03 |
| H | 9.51 | 8.76 | 9.18 | 9.73 | 7.92 | 7.86 | 10.02 |
| WC | 5.17 | 4.33 | 3.75 | 2.66 | 2.86 | 3.54 | 4.66 |
| W | 4.95 | 4.44 | 3.42 | 3.35 | 3.12 | 3.70 | 4.73 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2 ผลการศึกษาประสิทธิการกำจัดของแข็งละลายน้ำ (TDS)

จากการศึกษาของแข็งละลายน้ำด้วยวิธีระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส พบว่าระบบผักตบชวา (H) มีค่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำเท่ากับ 14.07% เนื่องจากพืชสามารถดูดซึมแร่ธาตุต่างๆที่ละลายน้ำไปเก็บสะสมไว้ที่รากและลำต้น ขณะที่ชุดควบคุม (C ) มีสาหร่ายเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก และอนุภาคสาหร่ายมีขนาดเล็ก ซึ่งอาจจะลอดผ่านกระดาษกรองใยแก้วที่มีความพรุนตั้งแต่ 0.5-1.5 ไมครอนได้ (มัณฑนา,2547) สำหรับถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษี (W) และถังทรายควบคุม (WC) พบว่าไม่สามารถกำจัดของแข็งละลายน้ำได้โดยน้ำที่ไหลผ่านถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษีและถังทรายควบคุมมีปริมาณของแข็งละลายน้ำมากกว่าน้ำทิ้งเข้าระบบ ซึ่งอาจเกิดจากไอออนต่างๆที่มีในน้ำทิ้งเข้าระบบ และแร่ธาตุต่างๆในชั้นกรวด ทราย ถูกชะละลายออกมาก ซึ่งสอดคล้องกับค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ศึกษา รวมทั้งในภาชนะควบคุมก็มีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าน้ำทิ้งเข้าระบบ แต่ในภาชนะใส่ผักตบชวาค่าการนำไฟฟ้าเริ่มลดลงหลังจากวัดค่าไปได้ 10 วัน (ดังรูปที่ 4.1) เมื่อนำไปเปรียบเทียบความแตกต่างกันด้วยสถิติ Mann-Whitney Test พบว่าความแตกต่างทางสถิติระหว่างภาชนะควบคุมและภาชนะใส่ผักตบชวา ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (ตารางภาคผนวก ค-3) สำหรับถังทรายควบคุมและถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษีก็ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (ตารางภาคผนวก ค-4) และการบำบัดด้วยผักตบชวาและต้นธูปฤาษี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (ตารางภาคผนวก ค-5)

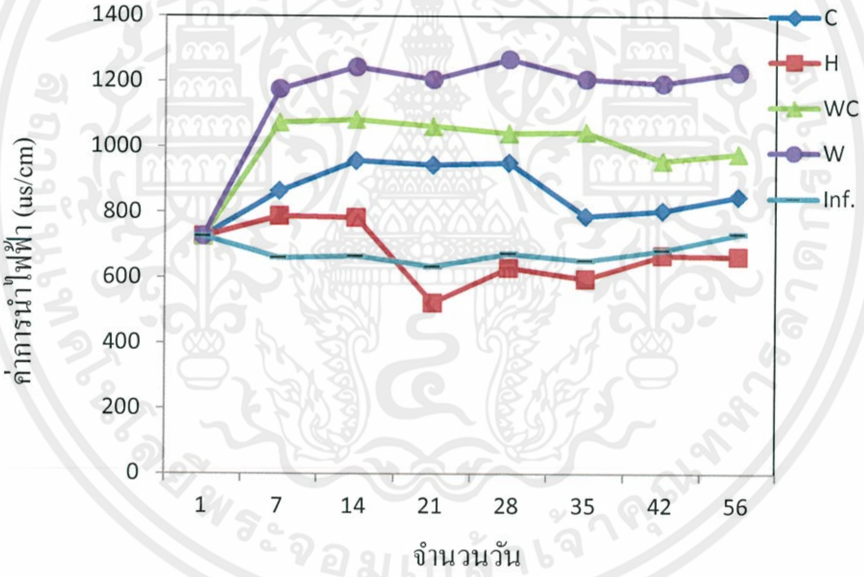
**ตารางที่ 4.2** ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำในการบำบัดแบบต่างๆ

| การบำบัด | ปริมาณของแข็งละลายน้ำก่อนการบำบัด (mg/L) (%เฉลี่ย, S.D.) | ปริมาณของแข็งละลายน้ำหลังการบำบัด (mg/L) (%เฉลี่ย, S.D.) | ประสิทธิภาพการกำจัด (%เฉลี่ย, S.D.) |
|---|---|---|---|
| C | 636.44± 47.07 | 804.78± 164.20 | -26.45±25.80 (*N*=3) |
| H | 636.44± 47.07 | 546.87± 121.49 | 14.07±19.09 (*N*=3) |
| WC | 636.44± 47.07 | 1,054.67± 151.29 | -65.71±23.77 (*N*=3) |
| W | 636.44± 47.07 | 1,175.83± 110.44 | -84.75±17.35 (*N*=3) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.3** ประสิทธิภาพค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดแบบต่างๆ

| การบำบัด | ค่าการนำไฟฟ้า ก่อนการบำบัด (mg/L) (%เฉลี่ย, S.D.) | ค่าการนำไฟฟ้า หลังการบำบัด (mg/L) (%เฉลี่ย, S.D.) | ประสิทธิภาพ ค่าการนำไฟฟ้า (%เฉลี่ย, S.D.) |
|---|---|---|---|
| C | 679.25±34.81 | 861.00±85.85 | -26.76±12.64 (*N*=7) |
| H | 679.25±34.81 | 672.28±91.30 | 1.03±13.44 (*N*=7) |
| WC | 679.25±34.81 | 996.50±117.55 | -46.71±17.31 (*N*=7) |
| W | 679.25±34.81 | 1156.50±175.56 | -70.26±25.85 (*N*=7) |




**รูปที่ 4.1** ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำเข้าและน้ำในการบำบัดแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรตไนโตรเจน

จากผลการวิเคราะห์น้ำหลังผ่านระบบบำบัด (Effluent) พบว่าน้ำทิ้งเข้าระบบมีปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจนน้อยมาก แต่พบไนเทรตไนโตรเจนในปริมาณมาก หลังผ่านการบำบัดปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนลดลงทุกชุดการทดลอง (ดังตารางที่ 4.4 และตารางภาคผนวก ข-4) ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเทรตได้ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรต พบว่า การบำบัดน้ำทิ้งด้วยการให้ไหลผ่านถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษี (W) สามารถกำจัดไนเทรตได้สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 81.03 % และถังทรายควบคุม (WC) มีค่าเท่ากับ 78.42% เนื่องจากภายในถังทรายทั้งสองถังมีน้ำขังท่วมอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชันได้ (ประกายธรรม, 2550) ซึ่งปฏิกิริยานี้จะสามารถเปลี่ยนไนเทรตเป็นก๊าซไนโตรเจนและระเหยกลับสู่บรรยากาศได้ ในขณะที่ภาชนะที่ใส่ผักตบชวา (H) มีประสิทธิภาพการกำจัดมากกว่าภาชนะควบคุม (C) และมีค่าเท่ากับ 63.67% และ 24.12% ตามลำดับ เนื่องจากพืชสามารถดูดซึมไนเทรตไปใช้ในการเจริญเติบโต (ตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.2) เมื่อนำไปเปรียบเทียบความแตกต่างกันด้วยสถิติ T-Test พบว่าความแตกต่างทางสถิติระหว่างภาชนะควบคุมและภาชนะที่ใส่ผักตบชวา แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (ตารางภาคผนวก ค-13) สำหรับถังทรายควบคุมและถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (ตารางภาคผนวก ค-14) และการบำบัดด้วยผักตบชวาและต้นธูปฤาษีก็ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (ตารางภาคผนวก ค-15)

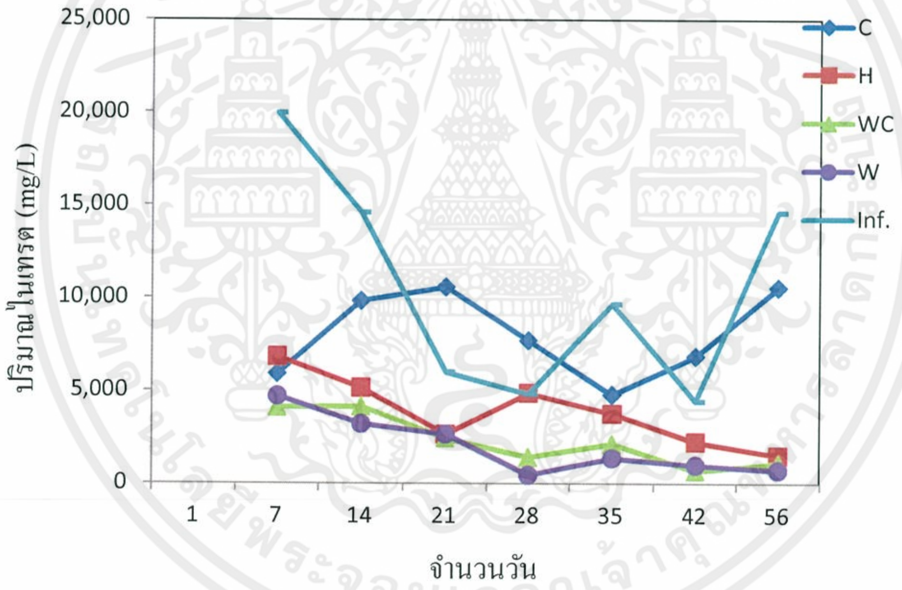
**ตารางที่ 4.4** ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในการบำบัดแบบต่างๆ

| การบำบัด | ปริมาณแอมโมเนีย ก่อนการบำบัด (mg/L) (%เฉลี่ย, S.D.) | ปริมาณแอมโมเนีย หลังการบำบัด (mg/L) (%เฉลี่ย, S.D.) |
|---|---|---|
| C | 0.56±0.20 | 0.13±0.08 (*N*=7) |
| H | 0.56±0.20 | 0.07±0.06 (*N*=7) |
| WC | 0.56±0.20 | 0.02±0.04 (*N*=7) |
| W | 0.56±0.20 | 0.01±0.03 (*N*=7) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.5** ประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรตในการบำบัดแบบต่างๆ

| การบำบัด | ปริมาณไนเทรตก่อนการบำบัด (mg/L) (%เฉลี่ย, S.D.) | ปริมาณไนเทรตหลังการบำบัด (mg/L) (%เฉลี่ย, S.D.) | ประสิทธิภาพการกำจัด (%เฉลี่ย, S.D.) |
|---|---|---|---|
| C | 10570.50±5960.32 | 8020.40±2330.76 | 24.12±22.05 (*N*=7) |
| H | 10570.50±5960.32 | 3840.01±1876.37 | 63.67±17.75 (*N*=7) |
| WC | 10570.50±5960.32 | 2281.50±1386.35 | 78.42±13.12 (*N*=7) |
| W | 10570.50±5960.32 | 2005.00±1564.74 | 81.03±14.80 (*N*=7) |




**รูปที่ 4.2** ปริมาณไนเทรตในน้ำเข้าและในการบำบัดแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

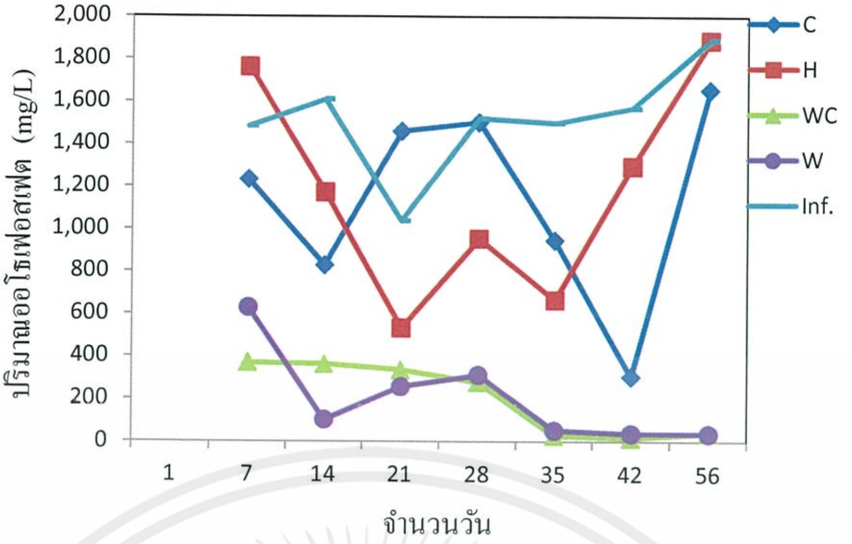
### 4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟต

จากผลการศึกษาปริมาณออโธฟอสเฟตด้วยการเทียบสีกับกรดแอสคอบิก โดยใช้เครื่องสเปคโทโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis) ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร โดยนำน้ำทิ้งไปบำบัดด้วยผักตบชวาและต้นธูปฤาษี พบว่าการบำบัดโดยการให้น้ำไหลผ่านถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษี (W) และถังทรายควบคุม (WC) มีประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟตใกล้เคียงกันเท่ากับ 94.34% และ 92.40% ตามลำดับ อาจเกิดจากการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์และการดูดซับด้วยตัวกลางเท่านั้น เนื่องจากต้นพืชในระบบมีจำนวนน้อย จึงไม่มีผลต่อการบำบัดออโธฟอสเฟสต ทำให้ประสิทธิภาพของทั้งสองถังไม่แตกต่างกันมาก ในขณะเดียวกันการบำบัดด้วยผักตบชวา (H) มีประสิทธิภาพต่ำกว่าการบำบัดด้วยต้นธูปฤาษี มีค่าเท่ากับ 56.07% การที่ออโธฟอสเฟตลดลงอาจเกิดจากพืชดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโต เมื่อเวลาผ่านไป 30 วัน อุณหภูมิของระบบสูงขึ้นพืชเริ่มเหี่ยวและตาย เนื่องจากน้ำในระบบที่มีปริมาณน้อยและภาชนะที่มีขนาดไม่ใหญ่มากจึงทำให้น้ำอุณหภูมิสูงกว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติ เมื่อผักตบชวาตายจึงทำให้ออโธฟอสเฟตที่สะสมอยู่ในลำต้นและรากพืชถูกปล่อยกลับสู่ระบบ (ดังรูปที่ 4.3) สำหรับภาชนะควบคุม (C) ปริมาณออโธฟอสเฟตลดลงได้เนื่องจากถูกสาหร่ายดึงไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ (ดังตารางที่ 4.6) เมื่อนำไปเปรียบเทียบความแตกกต่างกันด้วยสถิติ Mann-Whitney Test พบว่าความแตกต่างระหว่างภาชนะควบคุมและภาชนะใส่ผักตบชวา ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (ตารางภาคผนวก ค-8) และถังทรายควบคุมและถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษีก็ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (ตารางภาคผนวก ค-9) ในขณะที่การบำบัดด้วยผักตบชวาและต้นธูปฤาษีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (ตารางภาคผนวก ค-10)

**ตารางที่ 4.6** ประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟตในการบำบัดแบบต่างๆ

| การบำบัด | ปริมาณออโธฟอสเฟต ก่อนการบำบัด (mg/L) (%เฉลี่ย, S.D.) | ปริมาณออโธฟอสเฟต หลังการบำบัด (mg/L) (%เฉลี่ย, S.D.) | ประสิทธิภาพการกำจัด(%เฉลี่ย, S.D.) |
|---|---|---|---|
| C | 2961.22±467.69 | 1658.03±1150.59 | 44.01±38.86 (*N*=7) |
| H | 2961.22±467.69 | 1300.74±562.40 | 56.07±18.99 (*N*=7) |
| WC | 2961.22±467.69 | 157.79±95.65 | 92.40± 1.27 (*N*=7) |
| W | 2961.22±467.69 | 159.75±185.35 | 94.34± 5.69 (*N*=7) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.3** ปริมาณออโธฟอสเฟตในน้ำเข้าและในการบำบัดแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

# สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งหลังการบำบัดของโรงพยาบาล โดยศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ไนเทรตไนโตรเจนและออโธฟอสเฟต โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดระหว่างการบำบัดด้วยผักตบชวาและต้นธูปฤาษี

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

1. การบำบัดด้วยผักตบชวาสามารถกำจัดของแข็งละลายน้ำได้และมีประสิทธิภาพเท่ากับ 14.07% แต่การบำบัดด้วยต้นธูปฤาษี น้ำที่ไหลผ่านระบบมีค่าของแข็งละลายน้ำปริมาณสูงกว่าน้ำทิ้งเข้าระบบ

2. ประสิทธิภาพในการกำจัดไนเทรตไนโตรเจนของการบำบัดด้วยต้นธูปฤาษีมีประสิทธิภาพดีกว่าในการบำบัดด้วยผักตบชวา พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย 81.03% และ 63.67% ตามลำดับ

3. ประสิทธิภาพในการกำจัดออโธฟอสเฟตของการบำบัดด้วยต้นธูปฤาษีมีประสิทธิภาพดีกว่าในการบำบัดด้วยผักตบชวา พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย 94.34% และ 56.07% ตามลำดับ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ภาชนะที่ใช้ทดลองควรมีขนาดใหญ่มากขึ้นเพื่อควบคุมอุณหภูมิของน้ำไม่ให้สูงเกินไป

2. ควรเพิ่มระยะเวลาในการศึกษา

3. ควรเพิ่มจำนวนชุดทดลองให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง


กรมควบคุมมลพิษ. **ระบบบำบัดน้ำเสีย.** ปรับปรุงครั้งล่าสุดเมื่อ วันที่ 27 พฤศจิกายน 2556. ออนไลน์. เข้าถึงได้จาก(http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html). อินเทอร์เน็ต. เข้าถึงเมื่อ 7 ตุลาคม 2556.

กรมควบคุมมลพิษ. **มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด.** ปรับปรุงครั้งล่าสุดเมื่อ วันที่ 27 พฤศจิกายน 2556. ออนไลน์. เข้าถึงได้จาก (http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html#s3). อินเทอร์เน็ต. เข้าถึงเมื่อ 4 ตุลาคม 2556.

ณัฐสรา แก้วนุช, นิรมล ตาอินทร์, สมัชญา พาขุนทด, 2551. **ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังด้วระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง.** โคงงานพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ประกายธรรม สุขสถิตย์. 2550. **ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชนโดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวดิ่ง.** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก. 2556. **ประสิทธิภาพของหญ้าอาหารสัตว์ในการบ้าบัดน้าเสียชุมชน ด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้าไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง.** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พิศาล โรจน์รัตนาวิชัย, สุกัญญา เกียรติพวงชัย. 2546. **การกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสียโดยใช้ระบบ SUBTERRA**. โครงงานพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2546.

มัณฑนา นวลเจริญ. 2547. สาหร่าย: **สิ่งมหัศจรรย์ในแหล่งน้ำ.** มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต พ.ศ. 2547.

สุชาดา สังวรวงษ์พนา. 2543. **ประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ในการลดค่า COD , $PO_4^{3-}$ - P , SS และ TDS.** รายงาน วิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Qitao Yi , Chinhyu Hur, Youngchul Kima. 2009. **Modeling nitrogen removal in water hyacinth ponds receiving effluent from waste stabilization ponds**. ecological engineering. 35 (2009), 75–84.

Royalproject. **โครงการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืช บึงมักกะสัน จ.กรุงเทพมหานคร**. ปรับปรุงครั้งล่าสุด เมื่อ วันที่ 6 มีนาคม 2556. ออนไลน์. เข้าถึงได้จาก(http://isaninfo.net/royalproject/?cat=1). อินเทอร์เน็ต. เข้าถึงเมื่อ 4 ตุลาคม 2556

S.H. Hasan , M. Talat , S. Rai. 2006. **Sorption of cadmium and zinc from aqueous solutions by water hyacinth (Eichchornia crassipes)**. Sciencedirect.(98), 918–928.

Zhi Wang , Zhiyong Zhang , Yingying Zhang a, Junqian Zhang , Shaohua Yan , Junyao Guo.2013. **Nitrogen removal from Lake Caohai, atypical ultra-eutrophic lake in China with large scale confinedgrowth of Eichhornia crassipes. Chemosphere**. (92), 177–183.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก

# วิธีการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก-1 การวิเคราะห์ของแข็งละลายน้ำ (TDS)

**หลักการ**

ตัวอย่างน้ำที่กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C ในถ้วยระเหยทราบน้ำหนัก จะถูกนำไประเหยด้วยไอน้ำจนแห้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C ทำให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนักที่เพิ่มคือน้ำหนักของของแข็งละลายน้ำทั้งหมด หรืออาจหาได้จากนำค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมาหักออกจากค่าของแข็งทั้งหมด

**เครื่องมือและอุปกรณ์**

1.ถ้วยระเหย (Evaporating Dishes)

2.เครื่องอังน้ำ (Water Bath)

3.โถทำแห้ง (Desiccator) พร้อมสารดูดความชื้น

4.ตู้อบ (Oven)

5.กระดาษกรอง (GF/C , Glass Fiber Filter)

6.ชุดกรอง

6.1 ขวดกรอง (Membrane Filter Funnel)

6.2 กรวยบุคเนอร์

7.เครื่องดูดสัญญากาศ (Suction Pump)

**วิธีวิเคราะห์**

1. นำถ้วยระเหยไปอบตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชม. ปล่อยทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง

2. เมื่อจะใช้ นำถ้วยระเหยมาชั่งน้ำหนัก

3. การกรองตัวอย่าง ต่อสายยางระหว่างปลายท่อดูดของเครื่องดูดและของขวดกรอง

4. วางกระดาษกรอง GF/C บนกรวยบุคเนนอร์ เปิดเครื่องดูดสุญญากาศ

5. ล้างกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ครั้งละ 20 มล. ปล่อยให้ดูดน้ำออกจากกระดาษกรองจนหมด ทิ้งน้ำล้างไป

6. นำน้ำตัวอย่างมาเขย่าให้เข้ากันมากรองผ่านกระดาษกรอง GF/C ที่เตรียมไว้ ให้กรองให้มากกว่าปริมาตรที่เลือกใช้ที่จะนำไประเหย

เอกสารนี้มีไว้เพื่อใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เทน้ำตัวอย่างที่ทราบปริมาตรที่แน่นอนลงถ้วยระเหย อังน้ำที่ปรับอุณหภูมิไว้ที่ 100 °C จนแห้ง

8. นำเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิไว้ที่ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชม.

9. นำออกจากตู้อบปล่อยทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่งน้ำหนัก

**การคำนวณ**

$$\text{ของแข็งละลายทั้งหมด (มก./ล.)} = \frac{(B-A)}{C} \times 10^{6}$$

A = น้ำหนักถ้วยระเหยอย่างเดียว , กรัม

B = น้ำหนักถ้วยระเหยและของแข็ง , กรัม

C = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)

หรือ ของแข็งละลาย = ของแข็งทั้งหมด – ของแข็งแขวนลอย

## ก-2 การหาไนเทรตในน้ำเสียและน้ำทะเลโดยวิธีบรูซีน

**หลักการ**

บรูซีน(Brucine) จะรวมไนเตรตเกิดเป็นสารสีเหลืองภายใต้สภาวะที่เป็นกรดและอุณหภูมิสูงซึ่งสามารถวัดความเข้มของสีที่เกิดขึ้น ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร

**เครื่องมือและอุปกรณ์**

1.สเปคโทรโฟโตมิเตอร์

2.เครื่องอังน้ำ (Water Bath)

3.ที่วางหลอดทดลอง (Rack)

4.หลอดทดลองขนาด 25 mL (Reaction Tube)

**สารเคมี**

1.สารละลายสต๊อคไนเตรต (Stock Nitrate Solution)

- ละลายแอนไฮดรัสโปแตสเซียมไนเตรต ($KNO_3$) 721.8 g ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้เป็น 1,000 L

2.สารละลายมาตรฐานไนเตรต(Standard Nitrate Solution)

- นำสารละลายสต๊อคไนเตรต 20 mL เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1,000 mL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.สารละลายบรูซีน-กรดซัลฟานิลิค (Brucine-Sulfanilic Acid Solution)

- ละลายบรูซีนซัลเฟล (Brucine sulfate) 1 กรัม และกรดซัลฟานิลิค 0.1 g ในน้ำร้อน 70 mL เติมกรดเกลือเข้มข้ม 3 mL ทำให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 mL

4.สารละลายกรดซัลฟูริค (4+1)

- ค่อยๆเท่กรดซัลฟูริคเข้มข้ม 500 mL ลงในน้ำกลั่น 125 mL ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

5.สารละลายโซเดียมคลอไรด์(NaCl)

- ละลายโซเดียมคลอไรด์ 300 g ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้เป็น 1,000 mL

**วิธีวิเคราะห์**

**1.การสร้างกราฟมาตรฐาน**

- ปิเปตสารละลายไนเตรตความเข้มข้น 2 mg/L จำนวน 1,2,3,4 และ 5 mL ใส่ในหลอดทดลองที่เตรียมไว้ แล้วเติมน้ำกลั่นให้แต่ละหลอดมีปริมาตรครบ 10 mL ซึ่งแต่ละหลอดจะมีความเข้มข้น 2,4,6,8 และ 10 ไมโครกรัม ตามลำดับ แบลงค์ใช้น้ำกลั่น 10 mLโดยไม่เติมสารมาตรฐาน

- เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 2 mL ใช้แท่งแก้วคนในหลอดทดลองให้เข้ากัน

- แล้วเติมกรดซัลฟูริค (4+1) จำนวน 10 mL คนให้ทั่ว นำหลอดทดลองที่ร้อนไปแช่น้ำให้หายร้อน เมื่อเย็นแล้วนำมาเติมสาระละลายบรูซีน-กรดซัลฟานิลิค 0.5 mL คนให้เข้ากัน นำหลอดไปใส่ในเครื่องอังน้ำซึ่งมีอุณหภูมิ 95 °C 20 นาที

- เมื่อครบเวลานำหลอดทดลองทั้งหมดมาแช่ในอ่างน้ำเย็น ทิ้งไว้จนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่าแอบซอร์แบนซ์ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร พล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นเป็นไมโครกรัมกับค่าแอบซอร์แบนซ์

**2.วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ**

- ปิเปตตัวอย่างน้ำ 10 mL เติมสารตามขั้นตอนทำกราฟมาตรฐาน

- นำไปวัดค่าแอบซอร์แบนซ์ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร นำมาอ่านค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

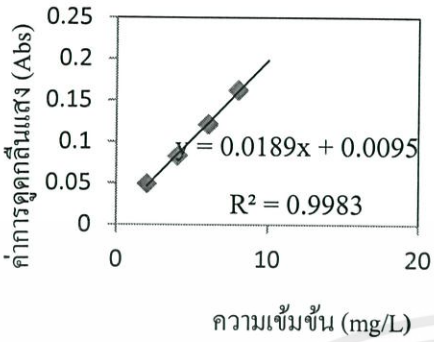
**การคำนวณ**

$$\text{ไนเตรต-ไนโตรเจน(mg/L)} = \frac{\text{ไมโครกรัมที่อ่านได้จากกราฟ}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ(mL)}}$$

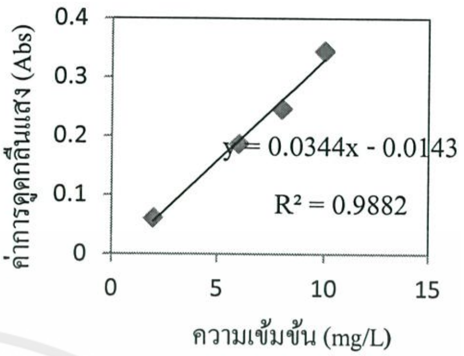
เอกสารนี้เป็นเอกสาร ... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา ... เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**กราฟมาตรฐานไนเทรตที่ใช้**

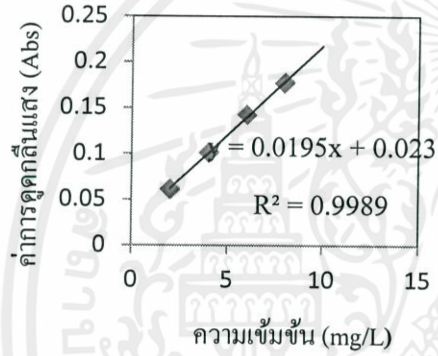
สำหรับผลการทดลองครั้งที่ 1



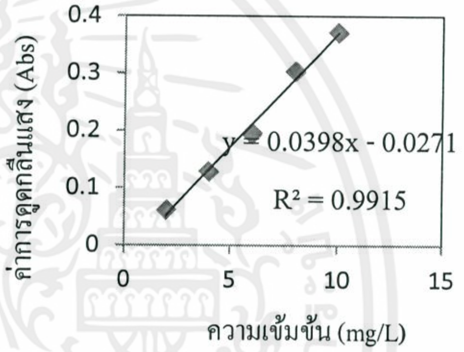

สำหรับผลการทดลองครั้งที่ 2



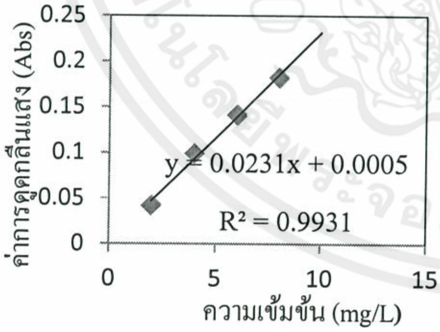

สำหรับผลการทดลองครั้งที่ 3



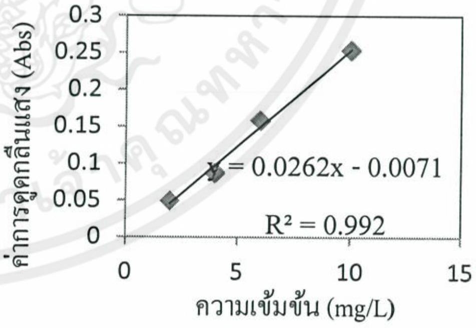

สำหรับผลการทดลองครั้งที่ 4




สำหรับผลการทดลองครั้งที่ 5

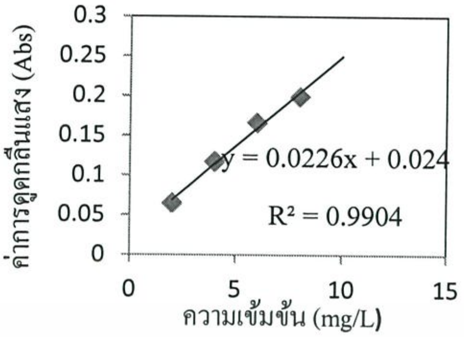



สำหรับผลการทดลองครั้งที่ 6




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผลการทดลองครั้งที่ 7




## ก-3 การหาปริมารแอมโมเนียไนโตรเจน ($NH_4$-N) ด้วยวิธีการกลั่น

**หลักการ**

ปริมาณ Amino Nitrogen ในสารอินทรีย์ แอมโมเนียอิสระและแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในตัวอย่าง เปลี่ยนเป็น Ammonium Sulfate [$(NH_4)_2SO_4$] ภายใต้สภาวะที่มี $H_2SO_4$ และ $K_2SO_4$ โดยมี $CuSO_4$ เป็น Catalyst หลังจากนั้นแอมโมเนียในสภาวะที่เป็นด่างจะถูกกลั่นและถูกจับใน Boric Acid แล้วนำไปไทเทรตด้วย $H_2SO_4$

**เครื่องมือและอุปกรณ์**

1. ชุดเครื่องกลั่นหาแอมโมเนีย (Kjeldahl Flask)
2. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flasks)
3. ปิเปต (Pipettes)
4. กระบอกตวง (Cylinder)
5. ขวดรูปชมพู่ (Flasks)

**สารเคมี**

1.น้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย

2.สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator solution)

- ละลายเมธิลเรด 200 mg ในเอธิลแอลกอฮอล์ 95%
- ละลายเมธีลีนบลู 100 mg ในเอธิลแอลกอฮอล์ 95 %
- นำสารทั้งสองมาผสมกัน สารละลายนี้เก็บได้เกิน 1 เดือน

3.สารละลายกรดบอริกที่เติมอินดิเคเตอร์ (Indicating boric acid solution)

- ละลายบอริก ($H_3BO_3$) 20 g ในน้ำกลั่นเติมสารละลายอินดิเคเตอร์ผสม 10 mL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน ... ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง ... ที่มีการนำไปใช้

เจือจางให้เป็น 1 L

4.สารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ (Borate buffer solution)

- เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N จำนวน 88 mL ลงในสารละลายโซเดียมเทตระบอเรต 0.025 โมลาร์ (เตรียมจาก $Na_2B_4O_7.10H_2O$ 9.5 g ละลายในน้ำกลั่นเป็น 1 L) ปริมาณ 500 mL ผสมให้เข้ากันเจือจางเป็น 1 L

5.กรดซัลฟูริก 0.02 N

- เตรียมจากสารละลายมาตรฐาน $H_2SO_4$ 1 N มา 20 mL เจือจางเป็น 1 L

6.สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 N

**วิธีวิเคราะห์**

**เตรียมเครื่องกลั่น**

1.ใส่เศษกระเบื้อง 3-4 ชิ้นลงในขวดเจดาห์ลขนาด 1000 ml

2.ตวงน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย 400 ml ใส่ขวดเจดาห์ลขนาด 1000 ml

3.เติมบอเรตบัฟเฟอร์ 20 ml ลงในขวดเจดาห์ล จากนั้นปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 N

4.นำไปกลั่นล้างชุดกลั่นจนปราศจากแอมโมเนีย ปล่อยให้ขวดเจดาห์ลคงสภาพเดิมหลังกลั่นเสร็จ จนกว่าจะเริ่มทำการกลั่นตัวอย่างจึงถอดขวดเจดาห์ลออกใส่ขวดใหม่เข้าไปแทน

**การเตรียมน้ำตัวอย่าง**

1.ตวงน้ำตัวอย่าง 400 ml ใส่ลงในขวดเจดาห์ล 1000 L

2.ใส่เศษกระเบื้อง 3-4 ชิ้นลงในขวดเจดาห์ล

3. เติมบอเรตบัฟเฟอร์ 25 mL และปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 N

4. นำขวดเจดาห์ลไปกลั่น ใช้ปลายของส่วนที่กลั่นออกมาจมอยู่ในสารละลายบอริกที่เติมอินดิเคเตอร์แล้ว 50 mL

5.กลั่นจนในขวดรูปชมพู่ที่ใส่บอริกอินดิเคเตอร์มีปริมาตร 200-250 mL

6.เมื่อกลั่นได้ปริมาตรที่ต้องการแล้วนำขวดรูปชมพู่ไปไทเทรตกับสารละลายกรดซัลฟูริก 0.02 N จากสีเขียวเป็นสีม่วงอ่อนเป็นจุดิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การคำนวณ**

$$\text{ปริมาณแอมโมเนีย} = \frac{(S-B)}{\text{ปริมาตรน้ำ(mL)}} \times 280$$

S = ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้กับตัวอย่งน้ำ (mL)

B = ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้กับแบลงค์ (mL)

## ก-4 วิธีวิเคราะห์อินทรีย์ไนโตรเจน (TKN)

**หลักการ**

ทีเคเอ็น หมายถึง ผลรวมของแอมโมเนียและสารอินทรีย์ไนโตรเจน การหาทีเคเอ็นทำได้โดยการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไนโตรเจนให้มาอยู่ในรูปแอมโมเนียก่อนแล้วจึงวัดปริมาณแอมโมเนียที่เกิดขึ้นทั้งหมด ค่าไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้คือ ค่าทีเคเอ็น แต่ถ้านำน้ำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาแอมโมเนียก่อน แล้วจึงนำมาย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนค่าที่วิเคราะห์ได้ คือ สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน

**เครื่องมือและอุปกรณ์**

1. ชุดเครื่องกลั่นหาแอมโมเนีย (Kjeldahl Flask)
2. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flasks)
3. ปิเปต (Pipettes)
4. กระบอกตวง (Cylinder)
5. ขวดรูปชมพู่ (Flasks)
6. เครื่องย่อยสลาย (Digestion apparatus)

**สารเคมี**

1.สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator solution)

- ละลายเมธิลเรด 200 mg ในเอธิลแอลกอฮอล์ 95%
- ละลายเมธีลีนบลู 100 mg ในเอธิลแอลกอฮอล์ 95%
- นำสารทั้งสองมาผสมกัน สารละลายนี้เก็บได้เกิน 1 เดือน

2.สารละลายกรดบอริกที่เติมอินดิเคเตอร์ (Indicating boric acid solution)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ละลายบอริก ($H_3BO_3$) 20 g ในน้ำกลั่นเติมสารละลายอินดิเคเตอร์ผสม 10 mL เจือจางให้เป็น 1 L

3.สารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ (Borate buffer solution)

- เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N จำนวน 88 mL ลงในสารละลายโซเดียมเทตระบอเรต 0.025 โมลาร์ (เตรียมจาก $Na_2B_4O_7.10H_2O$ 9.5 g ละลายในน้ำกลั่นเป็น 1 L) ปริมาณ 500 mL ผสมให้เข้ากันเจือจางเป็น 1 L

4.กรดซัลฟูริก 0.02 N

- เตรียมจากสารละลายมาตรฐาน $H_2SO_4$ 1 N มา 20 mL เจือจางเป็น 1 L

5.สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 N

6.กรดซัลฟูริกเข้มข้น

7.$CuSO_4$

- ชั่ง $CuSO_4$ จำนวน 25.115 g นำมาละลายในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ 1 L

**วิธีวิเคราะห์**

1.ตวงน้ำตัวอย่าง 500 ml ใส่ลงในขวดเจดาห์ล 1000 L

2.ใส่เศษกระเบื้อง 3-4 ชิ้นลงในขวดเจดาห์ล

3.เติมสารละลาย $CuSO_4$ 10 mL

4.เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 mL เขย่าให้สารเข้ากัน

5.นำไปต้มให้เหลือปริมาตรประมาณ 10-20 mL

6.เมื่อน้ำระเหยไปหมดแล้ว จะมีควันขาวขุ่นเกิดขึ้นให้ต้มต่อไปอีก 30 นาที จนตัวอย่างที่มีสีหรือขุ่นเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อนหรือใส จึงปิดเตาทิ้งให้เย็น

7.เติมน้ำกลั่นปริมาตร 300 mL

8.เติมบอเรตบัฟเฟอร์ 25 mL และปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 N

9.นำขวดเจดาห์ลไปกลั่น ใช้ปลายของส่วนที่กลั่นออกมาจมอยู่ในสารละลายบอริกที่เติมอินดิเคเตอร์แล้ว 50 mL

10.กลั่นจนในขวดรูปชมพู่ที่ใส่บอริกอินดิเคเตอร์มีปริมาตร 200-250 mL

11.เมื่อกลั่นได้ปริมาตรที่ต้องการแล้วนำขวดรูปชมพู่ไปไทเทรตกับสารละลายกรดซัลฟูริก 0.02 N จากสีเขียวเป็นสีม่วงอ่อนเป็นจุดยุติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การคำนวณ**

$$\text{ปริมาณแอมโมเนีย} = \frac{(S-B)}{\text{ปริมาตรน้ำ(mL)}} \times 280$$

S = ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้กับตัวอย่างน้ำ (mL)

B = ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้กับแบลงค์ (mL)

## ก-5 การหาออโธฟอสเฟตโดยวิธีแอสคอร์บิค

**หลักการ**

แอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium Molybdate) และโปแตสเซียมอนติโมนิลตาร์เตรต (Potassium Antimonyl Tartrate) จะทำปฏิกิริยากับออโธฟอสเฟตในสภาวะที่เป็นกรดเกิดเป็นกรดฟอสฟอโมลิบดิค(Phosphomolybdic Acid) ซึ่งถูกรีดิวซ์โดยกรดแอสคอร์บิค ได้สีโมลิบดีนัมบลู (Molybdenum blue) วิธีนี้สามารถใช้วัดฟอสเฟตได้ต่ำถึง 10 ไมโครกรัม/ลิตร

**เครื่องมือและอุปกรณ์**

1.สเปคโทรโฟโตมิเตอร์ ใช้ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร

2.เครื่องแก้วที่ล้างด้วยกรดและน้ำที่กลั่นจนสะอาด

**สารเคมี**

1.กรดซัลฟูริค 5 N

- เติมกรดซัลฟูริคเข้มข้น 70 mL ลงในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 500 mL

2. สารละลายแอนติโมนิลโพแตสเซียมตาร์เตส (Potassium Antimonyl Tartrate Solution)

- ละลายแอนติโมนิลโพแตสเซียมตาร์เตส ($K(SbO)C_4H_4O_6.0.5H_2O$) 1.3715 g ในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้เป็น 500 mL เก็บในขวดแก้ว

3.สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium Molybdate Solution)

- ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$) 20 g ในน้ำกลั่น 500 mL เก็บในขวดพลาสติกที่อุณหภูมิ 4 °C

4.กรดแอสคอร์บิค(Ascorbic Acid) 0.1 โมลาร์

- ละลายแอสคอร์บิค 1.76 g ในน้ำกลั่น 100 mL เก็บในขวดพลาสติกที่อุณหภูมิ 4 °C

5.น้ำยารวม (Combined Reagent)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมน้ำยาเคมีที่กล่าวมาข้างบนในสัดส่วนสำหรับ 100 mL ดังนี้

| | |
|---|---|
| กรดซัลฟูริค 5 N | 50 mL |
| สารละลายแอนติโมนิลโปแตสเซียมตาร์เตรต | 5 mL |
| สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต | 15 mL |
| สารละลายกรดแอสคอร์บิค | 30 mL |

ก่อนผสมต้องปล่อยให้สารละลายแต่ละชนิดอยู่ที่อุณหภูมิห้องก่อน นำมาผสมโดยผสมให้เข้ากันทุกครั้งเมื่อเติมส่วนผสมแต่ละชนิด(ให้เติมเรียงลำดับ) ถ้ามีความขุ่นเกิดขึ้นในน้ำยารวมหลังจากเติมสารละลายแอนติโมนิลโปแตสเซียมตาร์เตรต หรือแอมโมเนียมโมลิบเดตให้เขย่าน้ำยารวมแล้วตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที จนกระทั่งความขุ่นหายไป จึงจะเติมน้ำยาตัวอื่นต่อไป น้ำยารวมนี้อยู่ได้นาน 4 ชม.

6.สารละลายสต๊อคฟอสเฟส

- ละลาย Anhydrous KH2PO4 219.5 g ในน้ำกลั่นเจือจางเป็น 1,000 mL

7.สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต

- นำสารละลายสต๊อคฟอสเฟตมา 50 mL เติมน้ำกลั่นจนได้ 1,000 mL

**วิธีวิเคราะห์**

**1.การเตรียมกราฟมาตรฐาน**

- ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตมา 0,2,4,6 และ 8 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 mL แล้วปรับปริมาตรให้ถึงขีด แต่ละขวดจะมีความเข้มข้น 5,10,15,20 และ 25 ไมโครกรัม ตามลำดับ เทใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL
- เติมน้ำยารวม 8 mL เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที
- นำไปวัดค่าแอบซอร์แบนซ์ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร
- พล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นเป็นไมโครกรัมกับค่าแอบซอร์แบนซ์ที่ได้แต่ละความเข้มข้น

**2.การเตรียมตัวอย่างน้ำ**

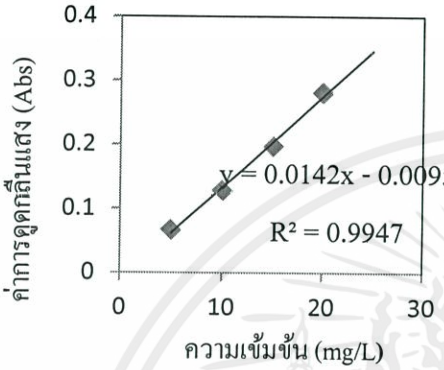
- ปิเปตน้ำตัวอย่าง 50 mL ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 1 หยด ถ้าเป็นสีแดงให้หยด กรดซัลฟูริค 5 N ลงไปทีละหยดจนกระทั่งสีแดงหายไป เติมน้ำยารวม 8 mL เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที นำไปวัดค่าแอบซอร์แบนซ์ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนโมตร โดยใช้ Reagent Blank เทียบ

การคำนวณ

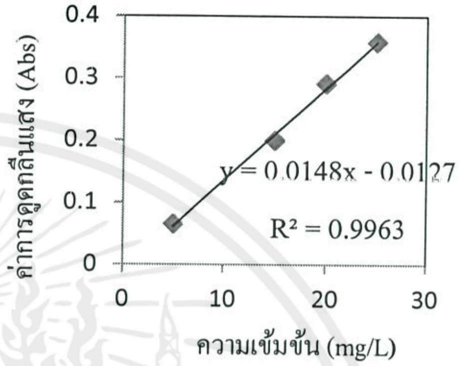
$$\text{ฟอสเฟต(mg/L.)} = \frac{\text{ไมโครกรัมฟอสเฟตที่อ่านได้จากกราฟ}}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง(mL)}}$$

**กราฟมาตรฐานออโธฟอสเฟตที่ใช้**

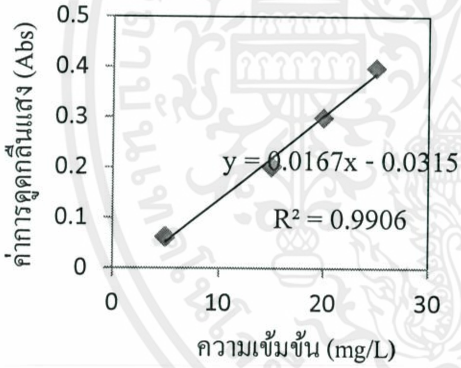
สำหรับผลการทดลองครั้งที่ 1



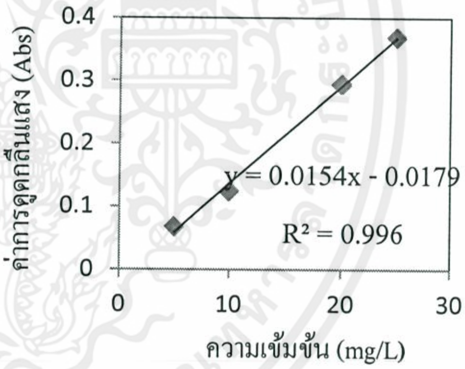

สำหรับผลการทดลองครั้งที่ 2



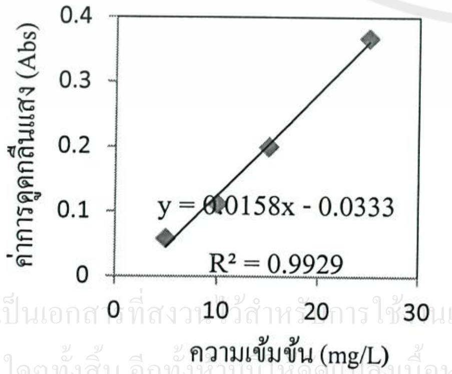

สำหรับผลการทดลองครั้งที่ 3



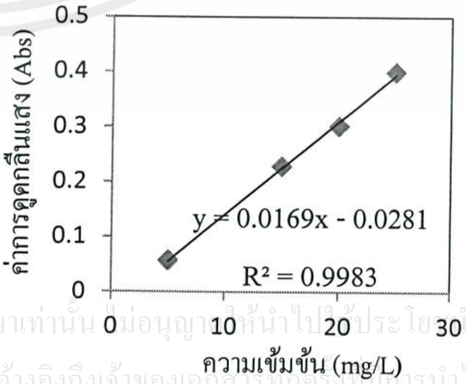

สำหรับผลการทดลองครั้งที่ 4




สำหรับผลการทดลองครั้งที่ 5

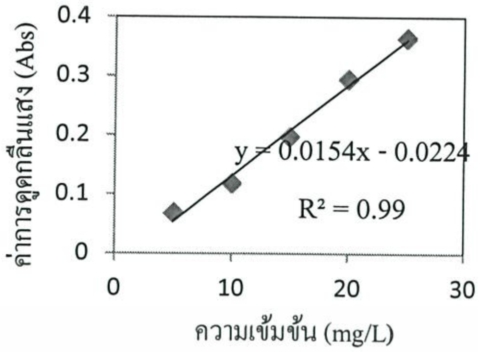



สำหรับผลการทดลองครั้งที่ 6




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผลการทดลองครั้งที่ 7




## ก-6 วิธีการวัดพีเอช (pH)

### หลักการ

การวัดพีเอช คือการวัดสภาพความเป็นกรดหรือเป็นด่างของสารละลาย ที่มีน้ำเป็นทำละลาย (Aqueous Solution)โดยวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น (Potential) ระหว่างอิเล็คโทรดอ้างอิง (Reference Electrode) กับอิเล็คโทรดตรวจวัด (Sensing Electrode) ความต่างศักย์ที่ได้เกิดขึ้นจากจำนวนของไฮโดรเจนอิออน (H+) อิเล็คโทรดจะเปลี่ยนความต่างศักย์ที่เกิดจากอิออน (Ionic Potential)ให้เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้า (Electronic Potential) แล้วขยายให้มีความต่างศักย์สูงขึ้นด้วยเครื่องวัดพีเอช (Potentionmeter)

**การวัดตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ**

เปิดเครื่องวัด pH เพื่ออุ่นเครื่องก่อนวัดประมาณ 5-10 นาที calibrate ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ ที่มีค่า pH อยู่ในช่วงที่คาดว่าใกล้เคียงกับตัวอย่างที่จะวัด แต่เครื่องวัด pH บางยี่ห้อ เช่น WTW จะกำหนดสารละลายบัฟเฟอร์ไว้ตายตัว คือ pH 7.0 และ 4.0 ตามลำดับ ในขณะที่เครื่องวัด pH บางยี่ห้อ เช่น DENVER นั้น สามารถเลือกสารละลายบัฟเฟอร์ ที่ต้องการ calibrate ได้ตามต้องการ การ calibrate ทำได้โดยเทสารละลายบัฟเฟอร์ลงในบีกเกอร์ แล้วจุ่มหัววัดลงไป แล้วทำตามขั้นตอนที่ได้แนะนำไว้สำหรับเครื่องวัด pH แต่ละยี่ห้อ/รุ่น ขณะ calibrate ควรแกว่งหัววัดเบาๆ ล้างหัววัดด้วยน้ำกลั่น และซับให้แห้งก่อนวัด pH ทุกๆ ครั้ง หรือทุกๆ ตัวอย่างของน้ำที่วัด เทน้ำตัวอย่างที่ต้องการวัดลงในบีกเกอร์ แล้วทำการวัด pH โดยแกว่งหัววัดเบาๆ เมื่อค่า pH หยุดนิ่งประมาณ 10 วินาที จดบันทึกค่าที่วัดได้ (การจดบันทึกค่าที่วัดได้ควรปฏิบัติตามคู่มือการใช้เครื่อง) ทำความสะอาดหัววัด แล้วเก็บเข้าที่ให้เรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การวัดตัวอย่างภาคสนาม**

ควรเตรียมเครื่องวัดให้พร้อมด้วยการ calibrate เครื่องวัดจากห้องปฏิบัติการ ให้เรียบร้อยก่อนนำออกภาคสนาม การวัดภาคสนาม อาจจุ่มหัววัดลงในขวด หรือวัดในแหล่งน้ำโดยตรงก็ได้ แต่หากมวลน้ำในแหล่งน้ำที่ต้องการวัดมีการเคลื่อนไหว การวัดจากแหล่งน้ำโดยตรง ค่าที่วัดได้จะไม่นิ่ง วิธีการแก้คือ ตักน้ำใส่ขวดใส่ตัวอย่าง การจดบันทึกค่าจะต้องปฏิบัติตามคู่มืออย่างเคร่งครัด การวัดในแหล่งน้ำโดยตรง ควรวัดก่อนเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์อื่นๆ เช่นเดียวกับการวัดออกซิเจน ละลาย อุณหภูมิของน้ำ และค่าความนำไฟฟ้า ในการวัดค่า pH ของน้ำที่มีความเค็มต่างกันมาก ควรจุ่มหัววัดให้อยู่ในน้ำ นาน 5-10 นาที ก่อนทำการอ่านค่า ล้างทำความสะอาดหัววัด แล้วเก็บเข้าที่

**ก-7 วิธีวัดค่าการนำไฟฟ้า (conductivity)**

**วิธีการใช้เครื่อง**

1. ติดตั้งหัววัดเข้ากับตัวเครื่องให้เรียบร้อย

2. จุ่มหัววัดลงในน้ำตัวอย่างที่ต้องการทำการวัด แต่ระดับของน้ำจะต้องท่วมรูของหัววัด

3. กดปุ่ม “ON / OFF” ให้เครื่องทำงาน

4. กดปุ่ม “TEMP / COND” เพื่อดูค่าของอุณหภูมิถ้าอุณหภูมิไม่ได้เท่ากับอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างให้

ปรับปุ่ม “TEMPERATURE” ให้หน้าจอเท่ากัน

5. กดปุ่ม “COND / TEMP” อีกครั้งเพื่อเปลี่ยนหน้าจอกลับมาเป็นโหมดการวัดของ Conductivity

6. กดปุ่ม เลือกย่านในการวัดตามความเหมาะสมกับค่าของน้ำ

หมายเหตุ ถ้าหน้าจอขึ้น “1” แสดงว่าค่าที่วัดได้อยู่นอกช่วงของการวัดแนะนำให้ใช้ช่วงการวัดสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก-8 วิธีวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

**หลักการ**

ระบบเมมเบรนอิเล็กโทรดที่ใช้หาออกซิเจนละลายไม่ว่าจะเป็นแบบโพลาโรกราฟิค (polarographic) หรือแบบกัลป์วานิค (galvanic) จะประกอบด้วยอิเล็คโทรด 2 อัน ซึ่งทำด้วยโลหะภายในบรรจุอิเลคโทรไลท์ (electrolyte) ซึ่งแยกจากตัวอย่างน้ำด้วยเมมเบรน ซึ่งยอมให้ออกซิเจนผ่านและกั้นมิให้สิ่งแปลกปลอมผ่านเข้าไปในสภาวะที่มีความสมดุลย์กระแสไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้สามารถเทียบตามความสัมพันธ์ได้กับความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย โดยกระแสไฟฟ้าที่แพร่ผ่านเข้าไปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของโมเลกุลออกซิเจนในตัวอย่าง

**วิธีการวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ**

1. ต่อหัววัด D.O. เข้ากับตัวเครื่อง

2. กดปุ่ม “ON/OFF” ให้เครื่องทำงาน

3. จุ่มหัววัด D.O. ลงไปในน้ำตัวอย่างที่ต้องการทำการวัด รอให้ค่าตัวเลขคงที่แล้วอ่านค่าที่ได้

ในหน่วยของ “%”

4 . ทำความสะอาดหัววัดเมมเบรนด้วยน้ำสะอาดและเก็บไว้ในฝาปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข

# ตารางผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตาราง ข-1** ผลการทดลองค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) และค่าการนำไฟฟ้า (EC)

| ครั้งที่ | พารามิเตอร์ | ชุดควบคุม (C) | ชุดการทดลองผักตบชวา (H) | | | | | ถังควบคุม (WC) | ถังธูปฤาษี (W) | Influent |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 1 | TDS | 826 | 670 | 686 | 634 | 688 | 756 | 1,218 | 1,110 | 682 |
| | EC | 726 | 728 | 729 | 729 | 719 | 724 | 727 | 728 | 727 |
| 2 | TDS | ---------- ไม่มีการเก็บตัวอย่าง ---------- | | | | | | | | |
| | EC | 865 | 812 | 807 | 658 | 806 | 854 | 1074 | 1176 | 661 |
| 3 | TDS | 912 | 296 | 644 | 432 | 512 | 658 | 1,042 | 1,310 | 610 |
| | | 960 | 300 | 560 | 316 | 596 | 558 | 948 | 1,310 | 716 |
| | | 1,000 | 386 | 500 | 394 | 534 | 596 | 1,090 | 1,290 | 592 |
| | EC | 958 | 877 | 798 | 708 | 863 | 671 | 1083 | 1244 | 666 |
| 4 | TDS | ---------- ไม่มีการเก็บตัวอย่าง ---------- | | | | | | | | |
| | EC | 945 | 392 | 597 | 373 | 574 | 680 | 1063 | 1206 | 635 |
| 5 | TDS | 618 | 444 | 530 | 394 | 536 | 462 | 912 | 1,200 | 578 |
| | | - | 434 | 556 | 320 | 516 | 464 | 890 | 1,020 | 592 |
| | | 644 | 428 | 550 | 384 | 544 | - | 956 | 1,123 | 594 |
| | EC | 952 | 473 | 999 | 368 | 617 | 695 | 1042 | 1268 | 674 |
| 6 | TDS | ---------- ไม่มีการเก็บตัวอย่าง ---------- | | | | | | | | |
| | EC | 788 | 542 | 676 | 466 | 683 | 613 | 1045 | 1207 | 653 |
| 7 | TDS | ---------- ไม่มีการเก็บตัวอย่าง ---------- | | | | | | | | |
| | EC | 849 | 751 | 529 | 642 | 722 | 679 | 980 | 1229 | 734 |
| ค่าเฉลี่ย, S.D. TDS | | 826.67±162.49 | 422.57±125.31 | 575.14±65.76 | 410.57±107.07 | 560.86±62.48 | 582.33±114.15 | 1008.00±116.49 | 1194.64±114.46 | 623.43±53.36 |
| ค่าเฉลี่ย, S.D. EC | | 861.00± 85.85 | 655.25±170.58 | 734.88±143.39 | 557.88±145.95 | 718.25± 94.78 | 695.13± 72.11 | 996.50± 117.55 | 1156.50±175.56 | 679.25± 34.81 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ตาราง ข-2** ผลการทดลองไนเตรตไนโตรเจน ($NO_3$-N)

| ครั้งที่ | ชุดควบคุม (C) | ชุดการทดลองผักตบชวา (H) | | | | | ถังควบคุม (WC) | ถังธูปฤาษี (W) | Influent |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 1 | 5,900 | 4,800 | 4,650 | 12,050 | 8,350 | 4,250 | 4,095 | 4,700 | 19,950 |
| 2 | 9,826 | 4,357 | 5,109 | 2,503 | 4,830 | 8,856 | 4,139 | 3,207 | 14,589 |
| 3 | 10,999 | 2,284 | 3,155 | 1,443 | 3,401 | 2,890 | 3,250 | 3,163 | 5,308 |
| | 10,138 | - | 3,316 | 1,750 | 5,100 | 2,649 | 2,304 | 2,115 | 6,674 |
| | - | 1,873 | 3,018 | 2,143 | 5,762 | 4,046 | 1,731 | - | - |
| 4 | - | 212 | 3,118 | 4,840 | 6,528 | 8,922 | 1,549 | 421 | 5,080 |
| | 7,758 | 109 | 3,155 | 4,300 | - | - | 1,624 | 553 | 4,530 |
| | 7,635 | 293 | 3,856 | - | 7,564 | 9,088 | 1,064 | 374 | - |
| 5 | 5,365 | - | 3,733 | 1,608 | - | - | 1,580 | - | 10,403 |
| | 4,565 | 2,446 | 3,600 | - | 7,683 | 2,626 | 2,299 | 946 | 9,835 |
| | 4,390 | 2,810 | 4,868 | 1,708 | 8,390 | 2,720 | 2,517 | 1,159 | 8,705 |
| 6 | 6,930 | 3,491 | 1,197 | 2,611 | - | 278 | 553 | 1,025 | 4,663 |
| | - | 3,387 | - | 3,103 | 3,917 | 199 | 440 | - | 3,818 |
| | 6,760 | - | 1,325 | 2,479 | 3,023 | 145 | - | 1,116 | 4,783 |
| 7 | 10,789 | 166 | - | 1,036 | 3,614 | 459 | - | 535 | - |
| | - | 270 | 2,029 | 1,736 | 3,737 | 284 | 1,253 | 875 | 15,370 |
| | 10,278 | - | 1,121 | 2,119 | 2,715 | - | 900 | 714 | 13,809 |
| ค่าเฉลี่ย, S.D. | 7794.85± 2387.10 | 1570.53± 1696.03 | 3150.00± 1271.79 | 3028.60± 2701.92 | 5329.57± 2043.69 | 3386.57± 3334.94 | 1953.20± 1155.98 | 1493.07± 1311.54 | 9108.36± 5078.35 |

หมายเหตุ : - ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ตาราง ข-3** ผลการทดลองแอมโมเนีย ($NH_4$-N)

| จำนวนวัน | ชุดควบคุม (C) | ชุดการทดลองผักตบชวา (H) | | | | | ถังควบคุม (WC) | ถังธูปฤาษี (W) | Influent |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 1 | 0.21 | 0.07 | 0.14 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.07 | 0.07 | 0.30 |
| 2 | 0.15 | 0.08 | 0.13 | 0.09 | 0.03 | 0.10 | - | - | 0.80 |
| 3 | - | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.03 | 0.10 | - | 0.56 |
| | 0.22 | 0.10 | 0.14 | 0.03 | 0.14 | 0.14 | 0.03 | - | 0.65 |
| | 0.24 | 0.03 | 0.14 | 0.03 | 0.14 | 0.07 | 0.10 | - | 0.61 |
| 4 | 0.04 | - | - | - | - | - | - | - | 0.59 |
| | 0.07 | - | - | - | - | - | - | - | 0.61 |
| | 0.02 | - | - | - | - | - | - | - | 0.68 |
| 5 | - | 0.10 | - | 0.24 | - | 0.14 | - | - | 0.34 |
| | - | 0.10 | - | 0.35 | - | 0.14 | - | - | 0.42 |
| | - | 0.10 | - | 0.42 | - | 0.17 | - | - | 0.28 |
| 6 | 0.14 | 0.07 | 0.03 | 0.24 | - | - | - | - | 0.42 |
| | 0.14 | 0.03 | 0.01 | 0.07 | - | - | - | - | 0.49 |
| | 0.14 | 0.03 | 0.04 | 0.42 | - | - | - | - | 0.35 |
| 7 | 0.11 | - | - | - | 0.04 | 0.04 | - | - | 0.81 |
| | 0.28 | - | - | - | 0.11 | 0.04 | - | - | 1.02 |
| | - | - | - | - | 0.04 | - | - | - | 0.56 |
| ค่าเฉลี่ย, S.D. | 0.11±0.09 | 0.05±0.04 | 0.04±0.06 | 0.13±0.15 | 0.04±0.07 | 0.06±0.07 | 0.02±0.04 | 0.00±0.02 | 0.56±0.20 |

หมายเหตุ : –ไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีไตเตรชันได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ตาราง ข-4** ผลการทดลองค่าอินทรีย์ไนโตรเจน (TKN)

| ครั้งที่ | ชุดควบคุม ( C) | ชุดการทดลองผักตบชวา (H) | | | | | ถังควบคุม (WC) | ถังธูปฤาษี (W) | Influent |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 1 | 0.73 | 0.84 | 0.64 | 0.34 | 0.56 | 0.36 | 0.62 | 0.67 | 1.23 |
| | 0.86 | 0.84 | 0.64 | 0.28 | 0.58 | 0.36 | 0.62 | 0.67 | 1.23 |
| | 0.73 | 0.92 | 0.64 | 0.34 | 0.58 | 0.36 | 0.62 | 0.67 | 1.23 |
| ค่าเฉลี่ย, S.D. | 0.77±0.09 | 0.87±0.05 | 0.64±0.00 | 0.32±0.03 | 0.57±0.01 | 0.35±0.02 | 0.62±0.00 | 0.67±0.00 | 1.23±0.00 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ตาราง ข-5** ผลการทดลองออโธฟอสเฟต ($PO_4$-P)

| ครั้งที่ | ชุดควบคุม (C) | ชุดการทดลองผักตบชวา (H) | | | | | ถังควบคุม (WC) | ถังธูปฤาษี (W) | Influent |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 1 | 2,924 | 1,970 | 1,818 | 2,464 | 3,600 | 1,834 | 244 | 534 | 3,440 |
| 2 | 2,870 | 1,314 | 874 | 1,740 | 1,940 | 308 | 212 | 270 | 2,832 |
| 3 | - | 536 | - | 553 | 1,511 | 201 | 167 | - | 2,023 |
| | 2,055 | 628 | 714 | 421 | 1,638 | 162 | 162 | 155 | 2,036 |
| | 2,089 | 640 | 608 | 419 | 1,677 | 104 | - | 202 | 2,040 |
| 4 | 1,949 | 100 | 586 | 254 | 1,977 | 419 | 324 | - | 3,139 |
| | - | 125 | 721 | 135 | 1,920 | 402 | 165 | 33 | 3,005 |
| | 2,484 | 144 | 620 | 202 | 1,932 | - | - | 64 | 3,119 |
| 5 | 959 | 823 | 677 | 454 | 2,365 | 284 | 61 | 52 | 2,989 |
| | 1,012 | - | 696 | 295 | 2,257 | 323 | 42 | 35 | 3,188 |
| | - | 705 | - | 443 | - | 342 | 58 | 57 | 2,907 |
| 6 | - | 2,092 | 1,450 | 330 | 2,443 | - | 228 | 65 | 3,003 |
| | 393 | 2,331 | 1,495 | 393 | 2,524 | 98 | 290 | 56 | 3,011 |
| | 543 | 2,234 | 1,616 | 417 | 2,626 | 92 | 181 | - | 2,743 |
| 7 | 55 | 3,619 | 1,723 | 1,957 | 948 | 28 | 61 | - | 3,256 |
| | 82 | 3,648 | 1,785 | 1,784 | - | 76 | 47 | 33 | 3,407 |
| | 75 | 3,741 | 1,883 | 1,950 | 1,013 | 42 | - | 74 | 3,503 |
| ค่าเฉลี่ย, S.D. | 1345.3±1088.59 | 1540.54±1294.78 | 1151.15±528.63 | 835.97±763.38 | 1945.21±664.59 | 314.36±440.72 | 160.10±94.28 | 125.49±142.79 | 2920.09±652.54 |

หมายเหตุ : - ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ตาราง ข-6** ผลการทดลองค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

| ครั้งที่ | ชุดควบคุม (C) | ชุดการทดลองผักตบชวา (H) | | | | | ถังควบคุม (WC) | ถังธูปฤาษี (W) | Influent |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 1 | 5.63 | 7.81 | 8.04 | 8.89 | 7.66 | 6.84 | 5.82 | 5.79 | 7.64 |
| 2 | 10.42 | 11.16 | 10.11 | 10.45 | 12.27 | 12.19 | 6.21 | 5.97 | 8.02 |
| 3 | 10.60 | 10.46 | 10.76 | 10.64 | 10.44 | 12.55 | 5.81 | 5.85 | 6.94 |
| 4 | 10.39 | 10.75 | 11.50 | 10.85 | 12.80 | 10.94 | 4.82 | 4.28 | 6.67 |
| 5 | 10.42 | 10.56 | 12.96 | 11.25 | 11.49 | 11.76 | 3.47 | 3.71 | 5.44 |
| 6 | 10.52 | 11.73 | 12.35 | 9.16 | 11.35 | 11.64 | 4.15 | 4.53 | 5.82 |
| 7 | 10.27 | 10.27 | 13.36 | 10.43 | 12.04 | 11.60 | 5.03 | 5.16 | 7.11 |
| 8 | 11.85 | 12.28 | 10.74 | 14.63 | 12.38 | 12.52 | 5.75 | 5.81 | 7.57 |
| ค่าเฉลี่ย, S.D. | 10.01±1.84 | 10.63±1.33 | 11.23±1.72 | 10.79±1.75 | 11.30±1.64 | 11.26±1.86 | 5.13±0.95 | 5.14±0.86 | 6.90±0.90 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ตาราง ข-7** ผลการทดลองค่าพีเอช (pH)

| จำนวนวัน | ชุดควบคุม (C) | ชุดการทดลองผักตบชวา (H) | | | | | ถังควบคุม (WC) | ถังธูปฤาษี (W) | Influent |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 1 | 6.73 | 6.74 | 6.74 | 6.74 | 6.77 | 6.77 | 6.61 | 6.64 | 6.76 |
| 2 | 8.96 | 7.86 | 7.57 | 6.62 | 8.07 | 8.33 | 7.67 | 7.68 | 6.59 |
| 3 | 9.92 | 9.31 | 9.58 | 7.60 | 9.28 | 9.93 | 7.62 | 7.59 | 7.07 |
| 4 | 9.63 | 9.30 | 9.94 | 7.55 | 9.43 | 9.50 | 7.57 | 7.50 | 7.17 |
| 5 | 10.42 | 9.69 | 9.58 | 9.60 | 9.32 | 9.44 | 7.73 | 7.53 | 7.09 |
| 6 | 10.51 | 9.22 | 9.70 | 9.63 | 9.02 | 9.23 | 7.71 | 7.34 | 6.85 |
| 7 | 10.40 | 9.19 | 10.26 | 9.36 | 10.24 | 9.46 | 7.79 | 7.37 | 7.22 |
| 8 | 9.97 | 10.13 | 9.83 | 9.89 | 10.35 | 10.27 | 7.72 | 7.31 | 7.01 |
| ค่าเฉลี่ย, S.D. | 9.57±1.25 | 8.93±1.09 | 9.15±1.27 | 8.37±1.38 | 9.06±1.17 | 9.12±1.10 | 7.55±0.39 | 7.37±0.32 | 6.97±0.22 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ตาราง ข-8** ผลการทดลองอุณหภูมิ

| จำนวนวัน | ชุดควบคุม (C) | ชุดการทดลองผักตบชวา (H) | | | | | ถังควบคุม (WC) | ถังธูปฤาษี (W) | Influent |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 1 | 30.10 | 30.00 | 30.10 | 30.10 | 30.00 | 30.10 | 30.90 | 30.90 | 30.10 |
| 2 | 30.00 | 29.60 | 29.60 | 30.00 | 29.10 | 29.50 | 30.60 | 30.70 | 30.50 |
| 3 | 30.10 | 31.60 | 31.60 | 31.50 | 31.40 | 30.50 | 33.50 | 32.90 | 32.10 |
| 4 | 30.60 | 31.00 | 31.30 | 30.50 | 30.90 | 31.10 | 32.10 | 31.20 | 31.00 |
| 5 | 30.20 | 29.90 | 30.10 | 29.20 | 30.00 | 29.90 | 32.60 | 31.10 | 30.60 |
| 6 | 35.80 | 35.70 | 35.10 | 35.30 | 36.20 | 35.30 | 36.20 | 36.20 | 36.10 |
| 7 | 36.40 | 36.40 | 35.70 | 36.50 | 38.10 | 36.80 | 35.50 | 34.80 | 32.50 |
| 8 | 32.80 | 31.50 | 30.80 | 31.00 | 31.20 | 31.60 | 30.80 | 30.70 | 30.60 |
| ค่าเฉลี่ย, S.D. | 32.00±2.70 | 31.96±2.64 | 31.79±2.33 | 31.76±2.66 | 32.11±3.24 | 31.85±2.71 | 32.78±2.15 | 32.31±2.12 | 31.69±1.97 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

# ภาคผนวก ค

# ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ค-1 การทดสอบสมมติฐานของกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระจากกัน (T-Test) เพื่อทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพของแข็งละลายน้ำ ไนเทรต และออโธฟอสเฟต**

ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์มีดังนี้

1. ตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะต้องมาจากการสุ่มและเป็นอิสระต่อกัน

2. ประชากรที่จะเปรียบเทียบต้องมีการแจกแจงปกติ

3. ประชากรที่จะเปรียบเทียบจะต้องมีความแปรปรวนเท่ากัน

และหากไม่ผ่านข้อตกลงเบื้องต้นนี้ก็จะเปลี่ยนมาใช้สถิติ Mann-Whitney Test ซึ่งเป็น nonparametric ในการเปรียบเทียบ

**1. เปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพของแข็งละลายน้ำ**

**ค-1.1 ประชากรที่จะเปรียบเทียบต้องมีการแจกแจงแบบปกติ**

$H_0$ : ข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ มีการแจกแจงปกติ

$H_1$ : ข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ มีการแจกแจงไม่ปกติ

**ตาราง ค-1** ทดสอบความแจกแจงปกติ

Test of Normality

| | System | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Statistic | df | Sig. |
| ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ | C | .987 | 3 | .784 |
| | H | .808 | 3 | .133 |
| | WC | .975 | 3 | .696 |
| | W | .766 | 3 | .035 |

*a Lilliefors Significance Correction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบพบว่าค่า p-value ของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำมีค่ากกว่าระดับนัยสำคัญ (0.05) ดังนั้นจึงปฏิเสธ $H_0$ แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติ

**ค-1.2 ประชากรที่จะเปรียบเทียบจะต้องมีความแปรปรวนเท่ากัน**

$H_0$ : ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ แตกต่างกัน

$H_1$ : ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ไม่แตกต่างกัน

**ตาราง ค-2** ทดสอบความแปรปรวน

Test of Homogeneity of Variances

| Levene Statistic | df1 | df2 | Sig. |
|---|---|---|---|
| .159 | 3 | 8 | .921 |

จากผลการทดสอบพบว่าค่า p-value ของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (0.05) ดังนั้นจึงยอมรับ $H_1$ แสดงว่าความแปรปรวนประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ แตกต่างกัน

ดังนั้น จากข้อตกลงเบื้องต้นของการใช้ T-Test พบว่าไม่ผ่านข้อตกลงเบื้องต้น ทำให้ไม่สามารถใช้ T-Test ได้จึงเลือกใช้สถิติ Mann-Whitney Test

**ค-1.3 ทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำระหว่างภาชนะควบคุม (C) และภาชนะใส่ผักตบชวา (H)**

$H_0$ : ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ แตกต่างกัน

$H_1$ : ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตาราง ค-3** เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติระหว่างภาชนะควบคุม (C) และภาชนะใส่ผักตบชวา (H)

Ranks

| | System | N | Mean Rank | Sum of Ranks | Asymp. Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ | C | 3 | 4.67 | 14.00 | .127 |
| | H | 3 | 2.33 | 7.00 | |
| | Total | 6 | | | |

จากการทดสอบพบว่า p-value = 0.127 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังนั้นจึงยอมรับ $H_0$ แสดงว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำระหว่างภาชนะควบคุม (C) และภาชนะใส่ผักตบชวา (H) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

**ตาราง ค-4** เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติระหว่างถังทรายควบคุม (WC) และถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษี (W)

Ranks

| | System | N | Mean Rank | Sum of Ranks | Asymp. Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ | WC | 3 | 2.67 | 8.00 | .275 |
| | W | 3 | 4.33 | 13.00 | |
| | Total | 6 | | | |

จากการทดสอบพบว่า p-value = 0.275 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังนั้นจึงยอมรับ $H_0$ แสดงว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำระหว่างถังทรายควบคุม (WC) และถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษี (W) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตาราง ค-5** เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการบำบัดด้วยผักตบชวา (H) และต้นธูปฤาษี (W)

Ranks

| | System | N | Mean Rank | Sum of Ranks | Asymp. Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ | H | 3 | 2.00 | 6.00 | .050 |
| | W | 3 | 5.00 | 15.00 | |
| | Total | 6 | | | |

จากการทดสอบพบว่า p-value = 0.050 ซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังนั้นจึงยอมรับ $H_0$ แสดงว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำระหว่างการบำบัดด้วยผักตบชวา(H) และต้นธูปฤาษี(W) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

**2. เปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟต**

**ค-2.1 ประชากรที่จะเปรียบเทียบต้องมีการแจกแจงแบบปกติ**

$H_0$ : ข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟต มีการแจกแจงปกติ

$H_1$ : ข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟต มีการแจกแจงไม่ปกติ

**ตาราง ค-6** ทดสอบความแจกแจงปกติ

| | System | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Statistic | df | Sig. |
| Phosphate | C | .904 | 7 | .355 |
| | H | .933 | 7 | .574 |
| | WC | .787 | 7 | .030 |
| | W | .757 | 7 | .015 |

*a Lilliefors Significance Correction.

*.This is a lower bound of the true significance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบพบว่าค่า p-value ของประสิทธิภาพการออโธฟอสเฟตมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (0.05) ดังนั้นจึงปฏิเสธ $H_0$ แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติ

**ค-2.2 ประชากรที่จะเปรียบเทียบจะต้องมีความแปรปรวนเท่ากัน**

$H_0$ : ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟต แตกต่างกัน

$H_1$ : ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟต ไม่แตกต่างกัน

**ตาราง ค-7** ทดสอบความแปรปรวน

**Test of Homogeneity of Variances**

| Levene Statistic | df1 | df2 | Sig. |
|---|---|---|---|
| 14.896 | 3 | 24 | .000 |

จากผลการทดสอบพบว่าค่า p-value ของประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟต มีน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (0.05) ดังนั้นจึงยอมรับ $H_0$ แสดงว่าความแปรปรวนประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟต ไม่แตกต่างกัน

ดังนั้น จากข้อตกลงเบื้องต้นของการใช้ T-Test พบว่าไม่ผ่านข้อตกลงเบื้องต้น ทำให้ไม่สามารถใช้ T-Test ได้จึงเลือกใช้สถิติ Mann-Whitney Test

**ตาราง ค-8** เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติระหว่างภาชนะควบคุม (C) และภาชนะใส่ผักตบชวา (H)

Ranks

| | System | N | Mean Rank | Sum of Ranks | Asymp. Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| ประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟต | C | 7 | 8.14 | 57.00 | .565 |
| | H | 7 | 6.86 | 48.00 | |
| | Total | 14 | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบพบว่า p-value = 0.565 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังนั้นจึงยอมรับ $H_0$ แสดงว่าประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟตระหว่างภาชนะควบคุม (C) และภาชนะใส่ผักตบชวา (H) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

**ตาราง ค-9** เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติระหว่างถังทรายควบคุม (WC) และถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษี (W)

Ranks

| | System | N | Mean Rank | Sum of Ranks | Asymp. Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| ประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟต | WC | 7 | 8.14 | 57.00 | .565 |
| | W | 7 | 6.86 | 48.00 | |
| | Total | 14 | | | |

จากการทดสอบพบว่า p-value = 0.565 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังนั้นจึงยอมรับ $H_0$ แสดงว่าประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟตระหว่างถังทรายควบคุม (WC) และถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษี (W) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

**ตาราง ค-10** เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการบำบัดด้วยผักตบชวา (H) และต้นธูปฤาษี (W)

Ranks

| | System | N | Mean Rank | Sum of Ranks | Asymp. Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| ประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟต | H | 7 | 11.00 | 77.00 | .002 |
| | W | 7 | 4.00 | 28.00 | |
| | Total | 14 | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบพบว่า p-value = 0.002 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังนั้นจึงยอมรับ $H_1$ แสดงว่าประสิทธิภาพการกำจัดออโธฟอสเฟตระหว่างการบำบัดด้วยผักตบชวา (H) และต้นธูปฤาษี (W) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

**3. เปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรตไนโตรเจน**

**ค-3.1 ประชากรที่จะเปรียบเทียบต้องมีการแจกแจงแบบปกติ**

$H_0$ : ข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรต มีการแจกแจงปกติ

$H_1$ : ข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรต มีการแจกแจงไม่ปกติ

**ตาราง ค-11** ทดสอบความแจกแจงปกติ

| | System | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Statistic | df | Sig. |
| ประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรต | C | .907 | 7 | .372 |
| | H | .963 | 7 | .844 |
| | WC | .893 | 7 | .290 |
| | W | .902 | 7 | .344 |

*a Lilliefors Significance Correction.

*.This is a lower bound of the true significance.

จากการทดสอบพบว่าค่า p-value ของประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรตมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (0.05) ดังนั้นจึงปฏิเสธ $H_1$ แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

**ค-2.2 ประชากรที่จะเปรียบเทียบจะต้องมีความแปรปรวนเท่ากัน**

$H_0$ : ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรต แตกต่างกัน

$H_1$ : ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรต ไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตาราง ค-12** ทดสอบความแปรปรวน

**Test of Homogeneity of Variances**

| Levene Statistic | df1 | df2 | Sig. |
|---|---|---|---|
| 1.371 | 3 | 24 | .275 |

จากผลการทดสอบพบว่าค่า p-value ของประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรต มีมากกว่าระดับนัยสำคัญ (0.05) ดังนั้นจึงยอมรับ $H_0$ แสดงว่าความแปรปรวนประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรตแตกต่างกัน

ดังนั้น จากข้อตกลงเบื้องต้นของการใช้ T-Test พบว่าผ่านข้อตกลงเบื้องต้น ทำให้สามารถใช้ T-Test ในการเปรียบเทียบได้

**ตาราง ค-13** เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติระหว่างภาชนะควบคุม (C) และภาชนะใส่ผักตบชวา (H)

**Group Statistics**

| | System | N | Mean | Std. Deviation | F | t | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรต | C | 7 | 8020.5714 | 2331.00814 | 0.802 | 3.696 | .003 |
| | H | 7 | 3840.0000 | 1876.26322 | | | |

จากการทดสอบพบว่า p-value = 0.003 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังนั้นจึงยอมรับ $H_1$ แสดงว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรตระหว่างภาชนะควบคุม (C) และภาชนะใส่ผักตบชวา (H) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตาราง ค-14** เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติระหว่างถังทรายควบคุม (WC) และถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษี (W)

**Group Statistics**

| | System | N | Mean | Std. Deviation | F | t | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรต | WC | 7 | 2281.4286 | 1386.37307 | 0.283 | 0.350 | .733 |
| | W | 7 | 2005.0000 | 1564.76356 | | | |

จากการทดสอบพบว่า p-value = 0.733 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังนั้นจึงยอมรับ $H_0$ แสดงว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรตระหว่างถังทรายควบคุม (WC) และถังทรายที่ปลูกต้นธูปฤาษี (W) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

**ตาราง ค-15** เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการบำบัดด้วยผักตบชวา (H) และต้นธูปฤาษี (W)

**Group Statistics**

| | System | N | Mean | Std. Deviation | F | t | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรต | H | 7 | 3840.0000 | 1876.26322 | 0.229 | 1.987 | .070 |
| | W | 7 | 2005.0000 | 1564.76356 | | | |

จากการทดสอบพบว่า p-value = 0.070 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังนั้นจึงยอมรับ $H_0$ แสดงว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนเทรตระหว่างการบำบัดด้วยผักตบชวา (H) และต้นธูปฤาษี (W) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้