การศึกษาประสิทธิภาพหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำ ในการบำบัดน้ำทิ้งจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้า

EFFICIENCY STUDY OF VETIVER GRASS CULTIVATED WITH FLOATING PLATFORM TECHNIQUE FOR WASTEWATER TREATMENT FROM COOLING TOWER OF POWER PLANT

นุชนาฏ พรสวัสดิ์ชัย

สิรินยากรณ์ ชินวัฒน์

สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFICIENCY STUDY OF VETIVER GRASS CULTIVATED WITH FLOATING PLATFORM TECHNIQUE FOR WASTEWATER TREATMENT FROM COOLING TOWER OF POWER PLANT

NUTCHANAT PORNSAWATCHAI
SIRINYAKORN CHINNAWAT

COOPERATIVE EDUCATION SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา การศึกษาประสิทธิภาพหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำในการบำบัดน้ำทิ้งจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้า
Efficiency Study of Vetiver Grass with Floating Platform Technique for Wastewater Treatment from Cooling Tower of Power Plant

ชื่อนักศึกษา นางสาวนุชนาฏ พรสวัสดิ์ชัย รหัสนักศึกษา 62050403
นางสาวสิรินยากรณ์ ชินวัฒน์ รหัสนักศึกษา 62050460

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2565

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2565

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ประธานกรรมการ	
นายนาวิน สิทธิดำรงการ กรรมการ	
รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา	การศึกษาประสิทธิภาพหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำ ในการบำบัดน้ำทิ้งจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้า
ชื่อนักศึกษา	นางสาวนุชนาฏ พรสวัสดิ์ชัย รหัสนักศึกษา 62050403
	นางสาวสิรินยากรณ์ ชินวัฒน์ รหัสนักศึกษา 62050460
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากหอหล่อเย็นในบ่อผึ่งของโรงไฟฟ้าด้วยหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำ เพื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), การนำไฟฟ้า (Conductivity), ความขุ่น (Turbidity), ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid, TDS) และของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid, TSS) โดยศึกษาระยะเวลาที่กักพักทางชลศาสตร์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้ง โดยแปรระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7, 14 และ 21 วัน ทำการทดลองในบ่ออะคริลิคขนาด 30x60x81 เซนติเมตร จำนวน 2 บ่อ แบ่งเป็น 1) บ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก) และ 2) บ่อควบคุม (ไม่มีหญ้าแฝก) จากผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 7 วัน บ่อทดลองที่มีหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งสูงกว่าบ่อควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถลดพีเอชจาก 8.16 เป็น 7.15 ลดค่าการนำไฟฟ้าจาก 2,070 เป็น 1,462 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับ 68.29, 49.88, 81.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยหญ้าแฝกสามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำทิ้ง

คำสำคัญ : น้ำทิ้งหอหล่อเย็น หญ้าแฝก เทคนิคแพลอยน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Efficiency Study of Vetiver Grass with Floating Platform Technique for Wastewater Treatment from Cooling Tower of Power Plant
Student	Miss Nutchanat Pornsawatchai Student ID 62050403
	Miss Sirinyakorn Chinnawat Student ID 62050460
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2022
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Suwannee Junyapoon

Abstract

The treatment of wastewater from cooling tower in aeration pond of power plant with vetiver grass grown in floating platform was studied to reduce pH, conductivity, turbidity, total dissolved solid (TDS) and total suspended solid (TSS). The optimum hydraulic retention time of the treatment was examined at 7, 14 and 21 days. The experiment was divided into two groups: 1) treatment group with vetiver grass grown in floating platform and 2) control group without vetiver grass. The results found that the optimal hydraulic retention time was 7 days. pH of effluent was reduced from 8.16 to 7.15 while conductivity of effluent was decreased from 2,070 to 1,462 µS/cm. The removal efficiencies of turbidity, total dissolved solids and total suspended solids were 68.29, 49.88 and 81. 58 %, respectively. It was found that vetiver grass can grow well in the wastewater.

Keywords: Vetiver grass, Floating Platform Technique, Cooling tower, Power Plant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

สหกิจศึกษานี้ สำเร็จไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้ความอนุเคราะห์ และคำแนะนำจากบุคคลหลายฝ่ายเป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ขอขอบพระคุณโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ราช โคเจนเนอเรชั่น ที่ได้มอบโอกาสที่ดี และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทำสหกิจศึกษาในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ รศ.ดร.สุวรณี จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาที่ช่วยให้คำแนะนำในการทำสหกิจศึกษา และแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงงานสหกิจศึกษา ทำให้โครงงานสหกิจศึกษานี้ผ่านไปด้วยดี ขอขอบพระคุณประธานกรรมการสอบสหกิจศึกษา ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ที่ช่วยให้คำชี้แนะ และข้อแก้ไขต่างๆ เพื่อให้สหกิจศึกษานี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณคุณนาวิน สิทธิดำรงการ คุณปริญฑิกา โกมลพันธุ์ คุณนุชราทิพย์ กาทองทุ่ง คุณพรทิพย์ สักกินัง ตลอดจนพนักงานภายในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ราช โคเจนเนอเรชั่นทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านต่างๆตลอดระยะเวลาในการทำสหกิจศึกษานี้ สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา บุคคลในครอบครัว ตลอดจนเพื่อนๆนักศึกษาที่ได้ให้คำแนะนำและให้กำลังใจตลอดมา อีกทั้งยังเป็นแรงผลักดันในการทำโครงงานสกหิจศึกษาในครั้งนี้

นุชนาฏ พรสวัสดิ์ชัย
สิรินยากรณ์ ชินวัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ญ
คำย่อ/สัญลักษณ์ ..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 กระบวนการใช้น้ำภายในโรงไฟฟ้า 3
2.2 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง 3
2.2.1 น้ำทิ้ง 3
2.2.2 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิต ส่งหรือจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า 3
2.3 หญ้าแฝก 5
2.3.1 หญ้าแฝกลุ่ม 6
2.3.2 หญ้าแฝกดอน 6
2.3.3 ลักษณะพิเศษของหญ้าแฝก 7
2.3.4 คุณสมบัติของหญ้าแฝก 7
2.3.5 การใช้หญ้าแฝกบำบัดน้ำเสีย 7
2.3.6 การดูแลรักษาหญ้าแฝก 8
2.4 กลไกการบำบัดน้ำเสียในระบบที่มีการปลูกพืช 8
2.4.1 การบำบัดสารอินทรีย์ 8
2.4.2 การบำบัดไนโตรเจน 9
2.4.3 การบำบัดฟอสฟอรัส 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 14
3.1อุปกรณ์..... 14
3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์..... 14
3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 15
3.2 การทำแพลอยน้ำสำหรับวางหญ้าแฝก..... 16
3.3 บ่อทดลองที่ใช้ในการศึกษา..... 16
3.4 ขั้นตอนการอนุบาลหญ้าแฝกและการบรรจุลงแพลอยน้ำ..... 17
3.5 ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการศึกษา..... 18
3.6 ผลของระยะเวลากักพักน้ำต่อความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งด้วยหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำ..... 19
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล..... 21
4.1 คุณสมบัติน้ำทิ้ง..... 21
4.2 การเจริญเติบโตของหญ้าแฝกในระยะการทดลอง..... 22
4.3 ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งหลังการบำบัด..... 23
4.3.1 ความเป็นกรดและด่าง (pH)..... 23
4.3.2 ความขุ่น (Turbidity)..... 24
4.3.3 การนำไฟฟ้า (Conductivity)..... 26
4.3.4 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid, TDS)..... 27
4.3.5 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid, TSS)..... 28
4.3.6 ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) 29
4.3.7ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) 31
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 33
5.1 สรุปผลวิจัย..... 33
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 33
เอกสารอ้างอิง..... 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก..... 36
ภาคผนวก ก การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์..... 37
ก 1 การวิเคราะห์ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid ,TDS)..... 37
ก.2 การของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid, TSS)..... 38
ก.3 ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)..... 39
ก.4 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)..... 41
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง..... 43
ข.1 คุณภาพน้ำทิ้งก่อนบำบัด..... 43
ข.2 ผลการตรวจวัดความเป็นกรดและด่าง (pH)..... 43
ข.3 ผลการตรวจวัดความขุ่น (Turbidity)..... 44
ข.4 ผลการตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)..... 45
ข.5 ผลการทดลองของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid, TDS)..... 47
ข.6 ผลการทดลองของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid, TSS)... 49
ข.7 ผลการทดลองทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)..... 51
ข.8 ผลการทดลองฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)..... 53
ภาคผนวก ค ผลการวิจัยทางสถิติของพารามิเตอร์ต่างๆจากโปรแกรม Minitab..... 54
ค.2 ความขุ่น (Turbidity)..... 54
ค.1 การนำไฟฟ้า (Conductivity)..... 56
ค.4 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid, TDS)..... 58
ค.3 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid, TSS)..... 60
ค.4 ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)..... 62
ค.5 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)..... 63
ภาคผนวก ง รูปภาพการบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบบึงประดิษฐ์ แบบทุ่นลอยน้ำ..... 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า ตามประเภทเชื้อเพลิง..... 4

2.2 กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกที่พบในประเทศไทย..... 6

3.1 พารามิเตอร์และวิธีการที่ใช้วิเคราะห์..... 18

3.2 การรักษาตัวอย่างน้ำ..... 19

4.1 ตารางคุณภาพน้ำทิ้งก่อนบำบัด..... 22

4.2 ตารางแสดงการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกในระยะการทดลอง..... 23

ข.1 คุณภาพน้ำทิ้งก่อนบำบัด..... 43

ข.2 ค่าความเป็นกรดและด่าง..... 43

ข.3.1 ความขุ่นในบ่อทดลอง..... 44

ข.3.2 ความขุ่นในบ่อควบคุม..... 45

ข.4.1 ค่าการนำไฟฟ้าในบ่อทดลอง..... 45

ข.4.2 ค่าการนำไฟฟ้าในบ่อควบคุม..... 46

ข.5.1 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในบ่อทดลองที่ระยะเวลากักพัก 7 14 และ 21 วัน... 47

ข.5.2 ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของบ่อทดลอง..... 47

ข.5.3 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพัก 7 14 และ 21 วัน.. 48

ข.5.4 ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของบ่อควบคุม..... 48

ข.6.1 ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในบ่อทดลองที่ระยะเวลากักพัก 7 14 และ 21 วัน... 49

ข.6.2 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของบ่อทดลอง..... 49

ข.6.3 ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพัก 7 14 และ 21 วัน.. 50

ข.6.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของบ่อควบคุม..... 50

ข.7.1 ค่าทีเคเอ็นในบ่อทดลองที่เวลากักพัก 7 14 และ 21 วัน..... 51

ข.7.2 ค่าทีเคเอ็นในบ่อควบคุมที่เวลากักพัก 7 14 และ 21 วัน..... 52

ข.8.1 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในบ่อทดลองที่ระยะเวลากักพัก 7 14 และ 21 วัน..... 53

ข.8.2 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพัก 7 14 และ 21 วัน..... 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ค.1.1 ตาราง ANOVA ความขุ่นที่คำนวณได้จากโปรแกรม Minitab..... 54
ค.1.2 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าความขุ่นของชุดบ่อควบคุมและบ่อทดลอง โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์..... 54
ค.1.3 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าความขุ่นของระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์..... 55
ค.1.4 ข้อมูลการจัดกลุ่มค่าความขุ่นระหว่างชุดบ่อทดลองและบ่อควบคุมกับระยะเวลา กักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์..... 55
ค.2.1 ตาราง ANOVA การนำไฟฟ้าที่คำนวณได้จากโปรแกรม Minitab..... 56
ค.2.2 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าการนำไฟฟ้าของชุดบ่อควบคุมและบ่อทดลอง โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์..... 56
ค.2.3 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าการนำไฟฟ้าของ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์..... 57
ค.2.4 ข้อมูลการจัดกลุ่มค่าการนำไฟฟ้าระหว่างชุดบ่อทดลองและบ่อควบคุมกับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์.... 57
ค.3.1 ตาราง ANOVA ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดที่คำนวณได้จากโปรแกรม Minitab..... 58
ค.3.2 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดบ่อควบคุมและบ่อทดลอง โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์..... 58
ค.3.3 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์.... 58
ค.3.4 ข้อมูลการจัดกลุ่มของแข็งละลายน้ำทั้งหมดระหว่างชุดบ่อทดลองและบ่อควบคุมกับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์..... 59
ค.4.1 ตาราง ANOVA ของแข็งแขวนลอยที่คำนวณได้จากโปรแกรม Minitab..... 60
ค.4.2 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของชุดบ่อควบคุมและบ่อทดลอง โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์..... 60
ค.4.3 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของระยะเวลากักพักชลศาตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์..... 60
ค.4.4 ข้อมูลการจัดกลุ่มของแข็งแขวนลอยทั้งหมดระหว่างชุดบ่อทดลองและบ่อควบคุมกับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ค.5.1 ตาราง ANOVA ของทีเคเอ็นที่คำนวณได้จากโปรแกรม Minitab..... 62
ค.5.2 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าทีเคเอ็นของชุดบ่อควบคุมและบ่อทดลอง โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์..... 62
ค.5.3 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าทีเคเอ็นของระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์..... 62
ค.5.4 ข้อมูลการจัดกลุ่มของทีเคเอ็นระหว่างชุดบ่อทดลองและบ่อควบคุมกับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์..... 63
ตาราง ANOVA ของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่คำนวณได้จากโปรแกรม Minitab..... 64
ค.6.2 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของชุดบ่อควบคุมและบ่อทดลอง โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์..... 64
ค.6.3 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์..... 64
ค.6.4 ข้อมูลการจัดกลุ่มฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่างชุดบ่อทดลองและบ่อควบคุมกับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์..... 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 บึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน..... 7

2.2 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินตามแนวราบ..... 8

2.3 ระบบบึงประดิษฐ์การไหลตามแนวดิ่ง..... 9

3.1 แพลอยน้ำสำหรับวางหญ้าแฝก (ก)ภาพด้านบน (ข)ภาพด้านข้าง..... 16

3.2 บ่ออะคริลิคที่ใช้ในการทดลอง..... 17

3.3 (ก) การอนุบาลหญ้าแฝก และ (ข) แพบรรจุหญ้าแฝก..... 17

3.4 ลักษณะของระบบบำบัดที่ทำการศึกษา (ก) บ่อควบคุม และ (ข) บ่อทดลอง ซึ่งบรรจุแพลอยที่มีหญ้าแฝก..... 20

3.5 สภาพปรากฏของบ่อควบคุมและบ่อทดลองเมื่อนำถุงดำมาคลุม..... 20

4.1 ลักษณะบ่อพักน้ำที่จ้วงเก็บน้ำตัวอย่าง..... 21

4.2 ลักษณะของ (ก) หญ้าแฝกก่อนบำบัด และหลังบำบัดที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ (ข) 7 วัน (ค) 14 วัน และ (ง) 21 วัน..... 23

4.3 ผลของระยะเวลากักพักน้ำต่อพีเอชของน้ำหลังการบำบัด..... 24

4.4 ผลของระยะเวลากักพักน้ำต่อความขุ่นของน้ำ..... 25

4.5 ค่าทางสถิติของระยะเวลากักพักน้ำต่อความขุ่นของน้ำ..... 25

4.6 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในบ่อทดลองที่มีหญ้าแฝกและบ่อควบคุม..... 26

4.7 ค่าทางสถิติของระยะเวลากักพักน้ำต่อค่าการนำไฟฟ้า..... 26

4.8 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในบ่อทดลองที่มีหญ้าแฝกและบ่อควบคุม..... 27

4.9 ค่าทางสถิติของระยะเวลากักพักน้ำต่อปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด..... 28

4.10 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในบ่อทดลองที่มีหญ้าแฝกและบ่อควบคุม..... 29

4.11 ค่าทางสถิติของระยะเวลากักพักน้ำต่อปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด..... 29

4.12 ค่าทีเคเอ็นในบ่อทดลองที่มีหญ้าแฝกและบ่อควบคุม..... 30

4.13 ค่าทางสถิติของระยะเวลากักพักน้ำต่อค่าทีเคเอ็น..... 31

4.14 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในบ่อทดลองที่มีหญ้าแฝกและบ่อควบคุม..... 32

4.15 ค่าทางสถิติของระยะเวลากักพักน้ำต่อค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด..... 32

ค.1 กราฟผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของความขุ่นทั้งหมดระหว่างชุดบ่อทดลองและชุดบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 14 และ 21 วัน..... 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ค.2 กราฟผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของค่าการนำไฟฟ้าทั้งหมดระหว่างชุดบ่อทดลองและชุดบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 14 และ 21 วัน..... 57
ค.3 กราฟผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดระหว่างชุดบ่อทดลองและชุดบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 14 และ 21 วัน..... 59
ค.4 กราฟผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดระหว่างชุดบ่อทดลองและชุดบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 14 และ 21 วัน..... 61
ค.5 กราฟผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของปริมาณทีเคเอ็นระหว่างชุดบ่อทดลองและชุดบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 14 และ 21 วัน..... 63
ค.4 กราฟผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่างชุดบ่อทดลองและชุดบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 14 และ 21 วัน..... 65
ง.1 บ่อรีเคลม..... 66
ง.2 ขวดเก็บตัวอย่างน้ำขนาด 1 ลิตร..... 66
ง.3 บ่อทดลองและบ่อควบคุมก่อนบำบัด..... 67
ง.4 บ่อทดลองและบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 วัน..... 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
หอหล่อเย็น	บ่อพักน้ำที่จะนำน้ำไปใช้ในการระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์แล้วกลับมาใช้งานได้อีก และเป็นบ่อรองรับน้ำจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า
บ่อผึ่งหรือบ่อรีเคลม	บ่อพักน้ำทิ้งจากหอหล่อเย็น ก่อนส่งน้ำออกไปภายนอกโรงงาน
บ่อทดลอง	บ่อที่ใช้ในการทดลองการบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบบึงประดิษฐ์ แบบทุ่นลอยน้ำ โดยในบ่อทดลองจะเป็นบ่ออะคริลิคขนาด กว้าง 30 cm. ยาว 60 cm. สูง 81 cm. ซึ่งในบ่อจะมีการปลูกหญ้าแฝกบนแพรลอยน้ำเพื่อบำบัดน้ำทิ้ง
บ่อควบคุม	บ่อที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้ง โดยบ่อควบคุมจะเป็นบ่ออะคริลิคขนาด กว้าง 30 cm. ยาว 60 cm. สูง 81 cm.
cm.	เซ็นติเมตร
L.	ลิตร
mL.	มิลลิลิตร
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
g.	กรัม
mg.	มิลลิกรัม
uS/cm	ไมโครซีเมนต์ต่อเซ็นติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ราช โคเจนเนอเรชั่น เป็นโรงไฟฟ้าประเภทผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer, SPP) ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้เทคโนโลยีพลังความร้อนร่วม ซึ่งการทำงานร่วมกันของ 2 ระบบคือ ระบบกังหันก๊าซ (Gas Turbine) และระบบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) โดยมีหลักการทำงานคือการนำไอเสีย (exhaust gas) ที่ออกจาก gas turbine ซึ่งมีความร้อนสูงประมาณ 430-500 องศาเซลเซียส ไปใช้ในการเปลี่ยนสถานะของน้ำให้กลายเป็นไอน้ำเพื่อนำมาใช้ในการผลิตไฟของ steam turbine น้ำจึงเป็นวัตถุดิบหลักที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังใช้ในกระบวนการหล่อเย็น เพื่อลดอุณหภูมิของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต ทำให้น้ำที่ผ่านการใช้งานมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง ไม่สามารถระบายออกสู่ภายนอกได้ การกักพักน้ำในบ่อผึ่งเพื่อลดอุณหภูมิจึงเป็นขั้นตอนในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้มีคุณภาพเหมาะสมก่อนระบายสู่สิ่งแวดล้อม แต่เนื่องจากบ่อผึ่งที่ใช้ในปัจจุบันเป็นบ่อเปิด ปัญหาที่พบคือน้ำมีสีเขียวและมีความขุ่น ส่งผลกระทบต่อทัศนียภาพของสถานประกอบการ จึงเป็นที่มาของการหาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อผึ่ง ให้มีสภาพปรากฏดีขึ้น

ปัจจุบันการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชเป็นวิธีการหนึ่งที่ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการบำบัดน้ำเสียโดยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (constructed wetlands) ทั้งแบบน้ำไหลบนผิวดิน หรือน้ำไหลใต้ผิวดิน ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ แต่ต้องมีการจัดเตรียมพื้นที่สำหรับปลูกพืช การบำบัดน้ำเสียโดยใช้เทคนิคการปลูกพืชบนแท่นลอยน้ำ จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้กับบ่อรวบรวมน้ำเสียหรือในแหล่งน้ำที่เกิดปัญหามลภาวะได้โดยไม่ต้องจัดเตรียมพื้นที่สำหรับปลูกพืช ซึ่งจะเป็นการลดขั้นตอนการก่อสร้างระบบ ทำให้ต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียลดลง ทั้งนี้พืชที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียมักเป็นพืชที่หาได้ง่ายโดยทั่วไปและมีแพร่หลาย ที่สำคัญได้แก่หญ้าแฝก เนื่องจากเป็นพืชที่เจริญเติบโตเป็นกอในแนวดิ่งมากกว่าออกทางด้านข้าง และมีรากที่ยาว 1.0-2.0 เมตร สานกันแน่นหยั่งลึกแนวดิ่งไม่แผ่ขนาน เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำเสียแบบใช้รากจุ่มลงไปในน้ำได้ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550) นอกจากนียังเป็นพืชที่มีรากฝอยปริมาณมาก ซึ่งจะช่วยดูดซับธาตุอาหารและสารประกอบต่างๆที่มีอยู่ในน้ำเสียเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต งานวิจัยของวิลาวัลย์ (2552) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย โดยใช้หญ้าแฝก 2 พันธุ์ คือพันธุ์สุราษฎร์ธานี และพันธุ์สงขลา3 ผลการศึกษาพบว่าหญ้าแฝกทั้งสองสายพันธุ์สามารถบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีของแข็งแขวนลอย ซีโอดี และธาตุอาหารได้ โดยพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีการเจริญเติบโตและสะสมธาตุอาหารสูงสุดเมื่อได้รับน้ำชะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูลฝอยดิบ ส่วนหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา 3 มีการเจริญเติบโตและสะสมธาตุอาหารสูงสุดเมื่อได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดและน้ำคลอง ซึ่งมีปริมาณของแข็งแขวนลอย ซีโอดี และธาตุอาหารไม่สูงมากได้ดี ในขณะที่ยังไม่พบการศึกษาการใช้ประโยชน์ของหญ้าแฝกมาใช้การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงไฟฟ้า งานวิจัยเชิงสหกิจศึกษาฉบับนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้หญ้าแฝกเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อผึ่งให้มีคุณภาพดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงไฟฟ้า ของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำ

2.เพื่อศึกษาผลของระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่อประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งด้วยหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. พืชที่ใช้ในการศึกษา คือหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา 3
2. บ่อบำบัดที่ใช้ศึกษาคือ บ่ออะคริลิค ขนา กว้างxยาวx สูง เท่ากับ 30x 60 x81 cm. จำนวน 2 บ่อ
3. ศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งจากระบบหล่อเย็นด้วยหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำ

-ตัวแปรต้น คือ ระยะเวลากักพักน้ำที่ต่างกัน (7, 14, 21 วัน)

-ตัวแปรตาม คือ คุณภาพน้ำหลังบำบัด ได้แก่ พีเอช ค่าความขุ่น (Turbidity) ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid, TDS) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid, TSS) ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แนวทางในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้า
2. ประหยัดพื้นที่และต้นทุนในการบำบัดน้ำทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการใช้น้ำภายในโรงไฟฟ้า

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ราช โคเจนเนอเรชั่น เป็นโรงไฟฟ้าประเภทผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer, SPP) ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้เทคโนโลยีพลังความร้อนร่วม ซึ่งการทำงานร่วมกันของ 2 ระบบคือ ระบบกังหันก๊าซ (Gas Turbine) และระบบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) โดยมีหลักการทำงานคือการนำไอเสีย (exhaust gas) ที่ออกจาก gas turbine ซึ่งมีความร้อนสูงประมาณ 430-500 องศาเซลเซียส ไปใช้ในการเปลี่ยนสถานะของน้ำให้กลายเป็นไอน้ำเพื่อนำมาใช้ในการผลิตไฟของ steam turbine น้ำจึงเป็นวัตถุดิบหลักที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังใช้ในกระบวนการหล่อเย็น เพื่อลดอุณหภูมิของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต ทำให้น้ำที่ผ่านการใช้งานมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง ไม่สามารถระบายออกสู่ภายนอกได้ การกักพักน้ำในบ่อผึ่งเพื่อลดอุณหภูมิจึงเป็นขั้นตอนในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้มีคุณภาพเหมาะสมก่อนระบายสู่สิ่งแวดล้อม แต่เนื่องจากบ่อผึ่งที่ใช้ในปัจจุบันเป็นบ่อเปิด ปัญหาที่พบคือน้ำมีสีเขียวและมีความขุ่น ส่งผลกระทบต่อทัศนียภาพของสถานประกอบการ จึงเป็นที่มาของการหาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อผึ่ง ให้มีสภาพปรากฏดีขึ้น

2.2 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง

2.2.1 น้ำทิ้ง

น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการทั้งจากกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำหรือน้ำเสียจากกิจกรรมอื่นในโรงงานผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ผ่านการบำบัดจนเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

2.2.2 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิต ส่งหรือจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า

โรงไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่มีการระบายมลพิษทางน้ำออกมาเป็นจำนวนมาก โดยฐานข้อมูลการระบายมลพิษจากแหล่งกำเนิด และระบบอนุญาตการระบายมลพิษ (permitting system) ของ US.EPA เมื่อปี ๒๕๕๖ ได้แสดงว่าโรงไฟฟ้ามีการระบายปริมาณมลพิษทางน้ำ ได้แก่ ปรอท สารหนูและตะกั่ว ลงสู่แหล่งน้ำมากที่สุด ซึ่งโลหะหนักดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตอย่างรุนแรง อีกทั้งยังไม่สามารถย่อยสลายได้ในสิ่งแวดล้อมแต่จะสะสมอยู่ในตะกอนดิน แหล่งน้ำ และสัตว์น้ำ และเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ตามห่วงโซ่อาหารในที่สุด ซึ่งปัจจุบันโรงไฟฟ้าใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศไทยถูกควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่ระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมด้วยมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนิคมอุตสาหกรรมและเขตประกอบการอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พ.ศ.๒๕๕๙ ทั้งนี้มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมฯ ฉบับดังกล่าว เป็นค่ามาตรฐานกลางที่บังคับใช้กับอุตสาหกรรมทุกประเภท ทำให้ไม่สามารถควบคุมอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีมลพิษสูงอย่างโรงไฟฟ้าได้กรมควบคุมมลพิษจึงจัดทำมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิต ส่ง หรือจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิต วัตถุดิบ และลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่แท้จริง

ตาราง 2.1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า ตามประเภทเชื้อเพลิง

พารามิเตอร์	เชื้อเพลิง		
	ถ่านหิน	ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันชีวมวล ก๊าซชีวภาพและขยะ	พลังงานอื่นๆ
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.5 – 9.0	5.5 – 9.0	5.5 – 9.0
2. ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids,TDS)	ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. บีโอดี(Biochemical Oxygen Demand)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร
6. น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
7. ไนเตรท (Nitrate)	ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทีเคเอ็น (TKN)	ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
9 .ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	-
10. เหล็ก (Fe)	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร	-
11. สารหนู (As)	ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร	-	-
12. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร	-	-
13. ซีลีเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร	-	-

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ

2.3 หญ้าแฝก

หญ้าแฝกมีชื่อสามัญว่า Vetiver grass เป็นพืชล้มลุกข้ามปี (perennial grass) จัดอยู่ในวงศ์หญ้า (Gramminae) เช่นเดียวกับ ข้าว ข้าวฟ่าง และตระไคร้ หญ้าแฝกเป็นพืชตระกูลหญ้าขึ้นเป็นกอหนาแน่น เจริญเติบโตโดยการแตกกออย่างรวดเร็ว เส้นผ่าศูนย์กลางกอประมาณ 30 เซนติเมตร ความสูงจากยอดประมาณ 0.5 ถึง 1.5 เมตร ลักษณะใบแคบยาวประมาณ 75 เซนติเมตร ค่อนข้างแข็ง หากนำมาปลูกติดต่อกันเป็นแนวยาวขวางแนวลาดเทของพื้นที่ กอซึ่งอยู่เหนือดินจะแตกกอติดต่อกันเหมือนรั้วต้นไม้ สามารถกรองเศษพืชและตะกอนดิน ซึ่งถูกน้ำชะล้างพัดพามาตกทับถมดินติดอยู่กับกอหญ้าเกิดเป็นคันดินตามธรรมชาติได้ หญ้าแฝกเป็นพืชที่มีระบบรากลึกเจริญเติบโตในแนวดิ่งมากกว่าออกทางด้านข้าง และมีจำนวนรากมากจึงเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี รากจะประสานติดต่อกันแน่นหนาเสมือนม่านหรือกำแพงใต้ดิน สามารถกักเก็บน้ำและความชื้นได้ ระบบรากแผ่ขยายกว้างเพียง 50 เซนติเมตร โดยรอบกอเท่านั้น ไม่เป็นอุปสรรคต่อพืชที่ปลูกข้างเคียง จัดเป็นมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยให้ดินมีความชื้นและ รักษาหน้าดินเพื่อใช้สำหรับปลูกพืชเศรษฐกิจ ซึ่งหญ้าแฝกกระจายอยู่ทั่วไปหลายพื้นที่ตามธรรมชาติ จากการสำรวจพบว่า มีหญ้าแฝก (Vetiveria spp.) อยู่ทั่วโลกประมาณ 12 ชนิด โดยในประเทศไทยมี 2 ชนิด(พัฒนาที่ดิน, กรม, 2541) คือ หญ้าแฝกลุ่มและหญ้าแฝกดอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 หญ้าแฝกลุ่ม

ลักษณะที่สำคัญ คือ หลังใบโค้งปลายใบ แบนมีสีเขียวเข้ม เนื้อใบค่อนข้างเนียน มีไขเคลือบ มากทำให้ดูมัน ท้องใบออกสีขาว ซีดกว่าด้านหลังใบ และเมื่อนำใบส่องดูกับแดดจะเห็นรอยกั้นขวางในเนื้อใบ (septum) โดยเฉพาะพื้นใบบริเวณส่วนโคนและกลางใบ เส้นกลางใบ (midrib) ฝังอยู่ในตัวแผ่นใบไม่โตหรือเด่นชัดเจนหญ้าแฝกลุ่มอายุประมาณ 1 ปี จะมีรากที่หยั่งลึกได้ประมาณกว่า 1 เมตร จะขึ้นอยู่กับสภาพของดินและความสมบูรณ์ของพืช โดยเฉพาะดินร่วนปนทรายที่มีการระบายน้ำได้ดีหญ้าแฝกจะให้รากยาวที่สุด

สายพันธุ์หญ้าแฝกลุ่มแบ่งได้ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์กำแพงเพชร 2 สายพันธุ์ศรีลังกา สายพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสายพันธุ์สงขลา

2.3.2 หญ้าแฝกดอน

ลักษณะที่สำคัญ คือ ใบสีเขียวซีด หลังใบพับเป็นสันสามเหลี่ยม เนื้อใบหยาบ สากคาย มีไขเคลือบน้อย ทำให้ดูกร้านไม่เหลือบมัน ท้องใบสีเดียวกับด้านหลังใบ แต่มีสีซีดกว่า แผ่นใบเมื่อส่องกับแดดไม่เห็นรอยกั้นในเนื้อใบ เส้นกลางใบสังเกตได้ชัดเจน มีลักษณะแข็งเป็นแกนนูนทางด้านหลัง ช่อดอกของหญ้าแฝกดอนจะมีได้หลายสี ซึ่งเป็นลักษณะปกติประจำถิ่น และหญ้าแฝกดอนจะมีรากที่สั้นกว่า โดยทั่วไปหญ้าแฝกที่มีอายุประมาณ 1 ปี จะมีรากลึกประมาณ 80-100 ซม.

สายพันธุ์หญ้าแฝกดอนแบ่งได้ 6 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์กำแพงเพชร 1 สายพันธุ์นครสวรรค์ สายพันธุ์เลย สายพันธุ์ร้อยเอ็ด สายพันธุ์ราชบุรี และสายพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์

ตารางที่ 2.2 กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกที่พบในประเทศไทย

หญ้าแฝกลุ่ม (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash)	หญ้าแฝกดอน (*Vetiveria nemoralis* A. Camus)	
1. กำแพงเพชร2	1.กาญจนบุรี	12. เลย
2. เชียงราย	2. กำแพงเพชร	13. สระบุรี1
3. เชียงใหม่	3. จันทบุรี	14. สระบุรี2
4. ตรัง1	4. ชัยภูมิ	15. ห้วยขาแข้ง
5. ตรัง2	5. นครพนม1	16. อุดรธานี1
6. แม่ฮ่องสอน	6. นครพนม2	17. อุดรธานี2
7. ศรีลังกา	7. นครสวรรค์	
8. สงขลา1	8. ประจวบคีรีขันธ์	
9. สงขลา2	9. พิษณุโลก	
10. สงขลา3	10. ร้อยเอ็ด	
11. สุราษฎร์ธานี	11. ราชบุรี	

ที่มา: พัฒนาที่ดิน, กรม, (2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ลักษณะพิเศษของหญ้าแฝก

การที่หญ้าแฝกถูกนำมาใช้ปลูกในการอนุรักษ์ดินและน้ำ เนื่องมาจากมีลักษณะเด่นหลายประการ ดังนี้

1. มีการแตกหน่อรวมเป็นกอ เบียดกันแน่น ไม่แผ่ขยายด้านข้าง
2. มีการแตกหน่อและใบใหม่ ไม่ต้องดูแลมาก
3. หญ้าแฝกมีข้อที่ลำต้นถี่ ขยายพันธุ์โดยใช้หน่อได้ตลอดปี
4. ส่วนใหญ่ไม่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด ทำให้ควบคุมการแพร่ขยายได้
5. มีใบยาว ตัดและแตกใหม่ง่าย แข็งแรงและทนต่อการย่อยสลาย
6. ระบบรากยาว สานกันแน่น และช่วยอุ้มน้ำ
7. บริเวณรากเป็นที่อาศัยของจุลินทรีย์
8. ปรับตัวกับสภาพต่าง ๆ ได้ดี ทนทานต่อโรคพืชทั่วไป
9. ส่วนที่เจริญต่ำกว่าผิวดิน ช่วยให้อยู่รอดได้ดีในสภาพต่าง ๆ

2.3.4 คุณสมบัติของหญ้าแฝก

โครงการวิจัยอันเนื่องมาจากพระราชดำริพบว่าหญ้าแฝกสามารถนำมาปลูกเป็นแถวเป็นแนวเพื่อเป็นปราการธรรมชาติ ช่วยกรองตะกอนดินที่ถูกชะล้างมากักเก็บไว้ ชะลอความเร็วของน้ำตามธรรมชาติและทำให้ดินดูดซับน้ำได้ทัน

หญ้าแฝกสามารถนำมาใช้ในการปกป้องและอนุรักษ์ดูแลทรัพยากรธรรมชาติได้ เช่น ปลูกตามแนวคลองชลประทาน อ่างเก็บน้ำและหนองบึง รวมทั้งไหล่ถนนและบริเวณใกล้สะพาน รากที่สานกันแน่นเหมือนตาข่ายจะพยุงดินไว้ กลายเป็น ‘กำแพงใต้ดินที่มีชีวิต’ ช่วยชะลอแรงน้ำ ทำให้น้ำซึมลงในดินได้มากขึ้น ช่วยป้องกันหน้าดินถูกกัดเซาะพังทลาย ในส่วนของบริเวณเชิงเขาแนวรั้วหญ้าแฝกยังช่วยหยุดยั้งการพังทลายของดินด้วยเช่นกัน

หญ้าแฝกเป็นหญ้าที่มีคุณประโยชน์มากมาย การนำหญ้าแฝกไปใช้อนุรักษ์ดินและน้ำได้ผลอย่างดีมาก หญ้าแฝกยังมีประโยชน์ในด้านอื่นๆอีกมาก มีรายงานวิจัยพบว่าหญ้าแฝกมีความสามารถในการดูดซับสารต่างๆได้ดี จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงได้นำหญ้าแฝกมาใช้ในการรักษาและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมได้ เช่น การปลูกหญ้าแฝกเพื่อกำจัดสารพิษจากขยะ การปลูกหญ้าแฝกเพื่อลดระดับน้ำใต้ดิน การปลูกหญ้าแฝกเพื่อบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

2.3.5 การใช้หญ้าแฝกบำบัดน้ำเสีย

ในต่างประเทศมีการใช้หญ้าแฝกมาเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว โดยมีการใช้หญ้าแฝกบำบัดน้ำเสียใน 2 ลักษณะ คือ 1) ใช้ลดปริมาณธาตุอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) ในน้ำเสียก่อนนำไปบำบัดโดยวิธีการต่าง ๆ ที่เหมาะสม 2) ใช้บำบัดน้ำเสียโดยตรง ในวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยตรงนั้นประเทศออสเตรเลียได้มีการทดลองใช้หญ้าแฝกปลูกในน้ำเสียในระบบไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) พบว่าหญ้าแฝกมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 การดูแลรักษาหญ้าแฝก

1. การคัดเลือกกล้าที่มีคุณภาพ กล้าหญ้าแฝกที่มีคุณภาพโดยทั่วไปเป็นกล้าที่มีอายุ 45 ถึง 60 วัน เมื่อนำกล้าที่แข็งแรงมาปลูกก็จะได้แนวรั้วหญ้าแฝกที่มีการเจริญเติบโตแข็งแรงอย่างสม่ำเสมอ

2. การเลือกช่วงเวลาปลูก การปลูกหญ้าแฝกในช่วงต้นฤดูฝนจะเหมาะสมที่สุด สภาพของดินที่ปลูกในช่วงต้นฤดูฝนจะมีความชุ่มชื้นสูงติดต่อกันมากกว่า 15 วันขึ้นไป

3. การตัดใบ ในช่วงต้นฤดูฝนให้ตัดใบหญ้าแฝกให้สั้น สูงจากพื้นผิว 5 เซนติเมตร เพื่อให้เกิดการแตกหน่อใหม่ และกำจัดหน่อแก่ที่แห้งตาย ในช่วงกลางฤดูฝนให้เกี่ยวใบสูง ไม่ต่ำกว่า 45 เซนติเมตร เพื่อให้มีแนวกอที่หนาแน่นในการรับแรงปะทะของน้ำไหลบ่า และในช่วงปลายฤดูฝนเกี่ยวใบให้สั้น 5 เซนติเมตร อีกครั้งเพื่อให้หญ้าแฝกแตกใบเขียว ในฤดูแล้ง

4. การดูแลรักษาตามความเหมาะสม ในต้นฤดูฝนให้ใส่ปุ๋ยหมักตามแถวหญ้าแฝกก็จะเป็นการช่วยให้หญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตดีขึ้น และกำจัดวัชพืชข้างแนวจะเป็นการช่วยให้สังเกตแนวหญ้าแฝกได้ชัดเจน ช่วยให้หญ้าแฝกเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ และเพื่อป้องกันการไถแนวทิ้งเนื่องจากสังเกตไม่เห็น

5. การปลูกซ่อมและแยกหน่อแก่ออก การปลูกซ่อมแซมในช่วงฤดูฝนจะทำให้ได้แนวรั้วหญ้าแฝกที่แข็งแรง และควรตัดแยกหน่อแก่ที่ออกดอก หรือแห้งออกไป เพื่อจะให้หน่อใหม่ได้แทรกขึ้นมาได้อย่างเต็มที่

2.4 กลไกการบำบัดน้ำเสียในระบบที่มีการปลูกพืช

2.4.1. การบำบัดสารอินทรีย์

ความยาวของรากพืชมีส่วนกำหนดลักษณะของการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่จะเกิดขึ้นในน้ำเสีย เนื่องจากกลไกหลักของการบำบัดสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจะเกิดจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน โดยออกซิเจนจะแพร่ผ่านรากพืช กลไกในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะประกอบด้วย 3 กระบวนการ คือ

ก) การตกตะกอน (Sedimentation) ของสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็ง

ข) กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่มีออกซิเจน โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารคาร์บอน (Heterotrophy) จะออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสียได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ และถ้าสารอินทรีย์มีส่วนประกอบของโปรตีน เช่น เนื้อสัตว์ สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายได้แอมโมเนียไนโตรเจน (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

ค) กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ กระบวนการหมัก (Fermantion) และกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะที่ 1 กระบวนการหมัก เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ใช้สารอินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งผลผลิตที่ได้ คือ กรดแลคติก(Latic Acid) แอลกอฮอล์ และคาร์บอนไดออกไซด์

ระยะที่ 2 กระบวนการสร้างก๊าซมีเทน โดยจุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจน (Methanogens) ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ผลผลิตที่ได้ คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) โดยทั่วไปจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะมีการเจริญเติบโตอย่างช้าๆ ในน้ำเสีย โดยมีการขยายพันธุ์ในช่วง 3 วัน หากอุณหภูมิในระบบประมาณ 35 องศาเซลเซียสและใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 50 วัน หากอุณหภูมิต่ำลงเป็น 10 องศาเซลเซียส

2.4.1. การบำบัดไนโตรเจน

ไนโตรเจนในน้ำเสียโดยทั่วไปอยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจนโดยการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำเกิดขึ้นได้ในน้ำทั้งที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน โดยกลไกการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสีย ประกอบด้วย 3 กระบวนการ คือ

ก) การนำไปใช้โดยพืชและจุลินทรีย์

1) การดูดดึงโดยพืช (Plant Uptake) ไนโตรเจนเป็นธาตุที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของยอดอ่อนและใบพืช โดยเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิน (Amino Acid) โปรตีน และเอมไซม์พืช ไนโตรเจนที่พืชดึงดูดไปใช้ได้มี 3 ประเภท คือ ไนเตรทไอออน (NO_3^-) แอมโมเนียไอออน(NH_4^+) และยูเรีย ($CO(NH_2)_2$) โดยเมื่อดูดดึงไนโตรเจนและยูเรียเข้าไปแล้วจะเปลี่ยนให้เป็นแอมโมเนียไนโตรเจน แล้วจึงเข้าไปรวมกับอินทรียสาร สังเคราะห์เป็นกรดอะมิโน (Amino Acid) นำไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของพืช แต่หากพืชดูดดึงแอมโมเนียไนโตรเจนเข้าไปในเซลล์ก็จะนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนและเอไมด์ได้ทันที (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543)

2) การนำไปใช้ (Assimilation) โดยจุลินทรีย์จุลินทรีย์ต้องการไนโตรเจนสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนโดยไนโตรเจนรูป (From) ที่เหมาะสม คือ แอมโมนียไนโตรเจน แต่หากมีปริมาณไม่เพียงพอจุลินทรีย์บางชนิด เช่น ดีไนตริไฟเออร์ (Denitrifiers) จะรีดิวซ์ไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจนเอมไซม์ ไนเตรทรีดักเทส (Nitrate Reductase) เพื่อนำไปสร้างเป็นเซลล์ใหม่ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

ข) กระบวนการไนตริฟิเคชัน ดีไนตริฟิเคชัน (Nitrification Denitrification)

กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) เป็นการออกซิเดชันทางชีวภาพของแอมโมเนียไนโตรเจนให้เป็นไนไตรท์ไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจน โดยกระบวนการนี้เกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจนบริเวณรอบรากพืช และในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ไนเตรท ไนโตรเจนสามารถเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจน โดยอาศัยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) โดยอาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์ดีไนตริไฟเออร์ เช่น Pseudomonas, Bacillus และ Spoirillum โดยใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและใช้ไนเตรทไนโตรเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนและเกิดก๊าซไนโตรเจน

เอกสารนี้ [illegible] ไม่ว่ากรณีใดๆ [illegible] ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) การระเหยของแอมโมเนีย (Ammonia Volatilization)

แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) สามารถระเหย (Volatilization) ผ่านชั้นน้ำและบรรยากาศได้ โดยการระเหยจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อน้ำมีความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 9.34 อย่างไรก็ตามการระเหยสามารถเกิดขึ้นได้ในสภาวะความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 แต่มีระยะเวลากักเก็บที่นานเพียงพอ

2.4.2 การบำบัดฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยทั่วไปอยู่ในรูปต่าง ๆ กันของฟอสเฟตทั้งที่ละลายน้ำ และไม่ละลายน้ำ โดยการไม่เปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยกลไกลการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียประกอบด้วยกระบวนการหลัก 3 กระบวนการ คือ

ก) การนำไปใช้โดยพืชและจุลินทรีย์

1) การดูดดึงโดยพืชฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สำคัญสำหรับพืช เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของสารถ่ายทอดพลังงานในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ รวมทั้งช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากและการออกดอกของพืช (ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) โดยพืชสามารถดูดดึงฟอสฟอรัสในรูปออร์โรฟอสเฟต ซึ่งมีได้ 3 แบบขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6.8 รูปที่เป็นประโยชน์และมีอยู่มาก คือ H_2PO_4 ซึ่งพืชดูดดึงไปใช้ได้ง่ายที่สุด หากมีคำความเป็นกรด-ด่าง สูงกว่า 6.8-7.2 จะอยู่ในรูป PO_4^{2-} ซึ่งพืชดูดดึงไปใช้ได้ยากโดยเมื่อดูดดึงฟอสเฟตไอออนเข้าไปในเนื้อเยื่อพืชแล้วจะไม่ผ่านกระบวนการเพื่อเปลี่ยนรูปแต่ยังคงอยู่ในรูปของฟอสเฟตตามเดิม คือ อนินทรีย์ฟอสเฟต และองค์ประกอบในสารอนินทรีย์ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543)

2) การนำไปใช้โดยจุลินทรีย์ ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบสำคัญภายในเซลล์จุลินทรีย์ เช่น Acinetobacter, Pseudomonas, Aerobacte และ Mycrobacterium ซึ่งจะสามารถสะสมฟอสฟอรัสภายในเซลล์ได้ประมาณร้อยละ 1-3 ของน้ำหนักแห้ง โดยส่วนใหญ่สะสมอยู่ในฟอสฟอรัสในรูปของโพลีฟอสเฟต (Polyphosphate)

ข) การดูดซับ (Adsorption) และการตกตะกอนทางเคมี (Precipitation)

การดูดซับเป็นกระบวนการทางกายภาพ โดยอนุภาคมวลสารจะเกาะยึดกันโดยอาศัยแรงวันเดอร์วาลล์ (Van Der Waals Force) ส่วนการตกตะกอนทางเคมีนั้นเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้ไอออนประจุบวกและประจุลบรวมกันเป็นตะกอนของแข็งซึ่งไม่ละลายน้ำ ซึ่งการบำบัดฟอสฟอรัสด้วยกระบวนการดังกล่าว จะเกิดระหว่างสารอนินทรีย์ฟอสเฟตกับอลูมิเนียม เหล็ก และแคลเซียม โดยฟอสฟอรัสถูกดูดซับและเกิดตะกอนผลึกขึ้น ซึ่งเกิดได้ดีเมื่อคำาความเป็นกรด-ด่างต่ำ

ค) การตกตะกอน (Sedimentation)

การตกตะกอนเป็นการจมตัวของแข็งแขวนลอยในน้ำโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย โดยเฉพาะการบำบัดอินทรีย์ฟอสเฟต ซึ่งอยู่ในรูปของเศษอาหารและกากของเสีย

ระยะเวลากักเก็บ (Detention Time) ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะต้องใช้ในกระบวนการบำบัดฟอสฟอรัส โดยหากมีระยะเวลากักเก็บนานขึ้น จะมีผลทำให้การดูดซับและตกตะกอนทางเคมี การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตกตะกอนของอินทรีย์ฟอสเฟต รวมทั้งการดูดดึงโดยพืชและการนำไปใช้โดยจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียสูงขึ้น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดารินทร์ และคณะ (2551) ศึกษาการใช้หญ้าแฝกในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้หญ้าแฝก 3 พันธุ์ คือ ศรีลังกา สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี โดยปลูกหญ้าแฝกในแพลอยน้ำในบ่อคอนกรีตกว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร และสูง 45เซนติเมตร ก้นบ่อรองด้วยทรายหยาบหนา 15เซนติเมตร ทำการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 14 สัปดาห์ โดยศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดในสัปดาห์ที่ 6, 10 และ 14 โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงนมที่มีค่าออกซิเจนละลาย บีโอดี ของแข็งละลายทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมด ไนเตรทไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด และเหล็ก เท่ากับ 0.35, 1,380, 664, 225, 67.76, 0.72, 6.15 และ 5.40 mg/L ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดของหญ้าแฝกมีค่าแปรผันตามอายุของหญ้าแฝก ซึ่งสัปดาห์ที่ 14 หญ้าแฝกพันธุ์ศรีลังกามีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ของแข็งละลายทั้งหมด และไนเตรทไนโตรเจนได้ดี เท่ากับ 88, 62 และ 81 % ตามลำดับ ส่วนหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี มีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมดฟอสฟอรัสทั้งหมด และเหล็ก เท่ากับ 94, 93. 90 และ 95 % ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายสูงสุดได้ถึง 91 % หญ้าแฝกพันธุ์ศรีลังกาและสุราษฎร์ธานีจึงเหมาะสมในการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงนม

เจษฎาพงศ์ เฉลิมวุฒิ และอมรา (2555) ศึกษาประสิทธิภาพและเปรียบเทียบระยะเวลากักพักชลศาสตร์ของหญ้าแฝกสายพันธุ์สงขลา 3 รวมถึงศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกสายพันธุ์สงขลา 3 ในน้ำเสียชุมชน โดยจัดทำบ่อทดลองจำนวน 2 บ่อ บ่อที่ 1 ปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์สงขลา3 โดยใช้เทคนิคแท่นลอยน้ำ บ่อที่ 2 บ่อควบคุมที่มีแท่นลอยน้ำแต่ไม่มีการปลูกพืช ทั้ง 2 บ่อ มีระยะเวลากักพักชลศาสตร์7, 14 และ 21 วัน ผลการวิจัยพบว่า บ่อทดลองที่ปลูกพืชหญ้าแฝกสายพันธุ์สงขลา 3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนสูงกว่าบ่อควบคุมที่ไม่ปลูกพืช พบว่าในระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 วัน จะมีประสิทธิภาพการบำบัดได้ดีที่สุด คือ มีประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดี ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส คิดเป็นร้อยละ 82.3 2, 80.3 1, 78.88 และ 76.55 ตามลำดับ และตลอดระยะเวลาทำการทดลอง หญ้าแฝกสายพันธุ์สงขลา 3 ที่ใช้มีอัตราการรอดที่ 100% มีการเจริญเติบโตดี ส่วนสภาพน้ำเสียที่บำบัดมีสภาพดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด คือ น้ำใสขึ้น ตะกอนน้อยลง กลิ่นไม่เหม็น ดังนั้นหญ้าแฝกสายพันธุ์สงขลา 3 จึงมีประสิทธิภาพที่ดีเพียงพอในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยเทคนิคแท่นลอยน้ำ และพบว่าสามารถบำบัดค่าบีโอดี ของแข็งแขวนลอยได้จนถึง14 วัน และค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัสได้จนถึง 21 วัน ก่อนประสิทธิภาพจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดารัตน์และพิมพ์ชนก (2557) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารฟีนอลด้วยหญ้าแฝกและการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกในน้ำที่ปนเปื้อนสารนอล เพื่อหาจำนวนต้นหญ้าแฝกต่อแพขนาด 40*20 เซนติเมตรที่เจริญเติบโตและสามารถอยู่รอดได้ในน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารนอลจากพื้นทีจริงโดยจะมีการสร้างแพหญ้าแฝกจำนวน 5 แพ ใช้จำนวนต้นหญ้าแฝก 20,40,60,80 และ 100 ต้น ตามลำดับ ผลการทดลอง พบว่า หญ้าแฝกที่มีการเจริญเติบโตและอยู่รอดในน้ำที่ปนเปื้อนสารฟินอลได้ดีที่สุดคือแพหญ้าแฝกที่มีจำนวนต้น 60 ต้น เนื่องจากมีการงอกเพิ่มจำนวนของรากเพิ่มขึ้นในขณะที่แพหญ้าแฝกในตู้อื่นไม่ได้มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนรากแต่อย่างใด รวมทั้งยังมีจำนวนใบเขียวคงที่ในช่วงวันที่ 39 - 49 ของการทดลอง ในขณะที่หญ้าแฝกในแพอื่นมีจำนวนใบเขียวลดลง

วิลาวัลย์ (2552) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย รวมทั้งการเจริญเติบโต และปริมาณธาตุอาหาร โดยทำการศึกษาหญ้าแฝก 2 พันธุ์ คือพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 ซึ่งน้ำชะมูลฝอยมี 3 ระดับความเข้มข้น คือ น้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยบีโอดีเท่ากับ 940.67 , 210.11 และ 60.44 mg/ ตามลำดับค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นเท่ากับ 219.30 183.80 และ 19.56 mg/ ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 12.75 , 4.48 และ 2.53 mg/ ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของหญ้าแฝกในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มขันมีความตกต่างกัน โดยหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ฟอสฟอรัสทั้งหมด และคลอไรด์สูงสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง84.77-86.36 , 86.46 -89.58 และ 18.70-21.58 % ตามลำดับ ส่วนหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบมีประสิทธิภาพกาบำบัดของแข็งแขวนลอยสูงสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 97.04-98.19% และหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำคลองมีปะสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นสูงสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 95.40-96.76 % ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยของหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันสำหรับการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในหญ้าแฝกพบว่าหญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ สามารถเจริญเติบโตและสะสมธาตุอาหารได้ในน้ำชะมูลฝอยทุกระดับความเข้มข้นโดยมีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีการเจริญเติบโดและสะสมธาตุอาหารสูงสุดเมื่อได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบ ส่วนหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีการเจริญเติบโตและสะสมธาตุอาหารสูงสุดเมื่อได้รับน้ำคลอง และน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว

มนต์ชัย จันทร์ศิริ (2548) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแท่นลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 เพื่อคัดเลือกพันธุ์หญ้าแฝกที่เหมาะสม โดยปลูกหญ้าแฝก 6 พันธุ์คือ กำแพงเพชร2 ศรีลังกา สงขลา3 สุราษฎร์ธานี ประจวบคีรีขันธ์ และราชบุรี ในถังที่บรรจุน้ำเสียชุมชนความเข้มข้นต่ำซึ่งผ่านระบบบำบัดขั้นที่2 ด้วยบ่อกรองไร้อากาศ (ค่าเฉลี่ยบีโอดี ที่เคเอ็น และฟอสฟอรัสทั้งหมด ระหว่าง 55.88, 40.297 และ 6.022 M9/) ทดลองทั้งสิ้น : สัปดาห์ พบว่าหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ฟอสฟอรัสทั้งหมด และออโธฟอสเฟตสูงเป็น 2 ลำดับแรก รวมทั้งมีการเจริญเติบโตและสะสมธาตุอาหารสูง สวนระยะที่ 2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของหญ้าแฝกที่

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ...

คัดเลือกทั้งสองพันธุ์มาทดลอง โดยปลูกหญ้าแฝกในบ่อพีวีซีกว้าง 85เซนติเมตร ยาว 155 เซนติเมตร และสูง 0.50 เซนติเมตร ซึ่งมีชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชเป็นชุดควบคุม ใช้น้ำเสียชุมชนความเข้มข้นสูงซึ่งเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยการดักด้วยตะแกรงหยาบ (ค่าเฉลี่ยบีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสทั้งหมด ระหว่าง 90.12-94.88, 41.025-31, 52.806 และ 5.892-6.657 mg/) และน้ำเสียชุมชนความเข้มข้นต่ำ (ค่าเฉลี่ยบีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสทั้งหมด ระหว่าง 44.28-58.92, 34.731-42.144 และ 4.838-5.482 mg/) โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ช่วง ช่วงละ 8 สัปดาห์ แต่ละช่วงใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ตามลำดับและใช้การปล่อยน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง พบว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วันมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด และชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสทั้งหมด สูงสุด มีค่าอยู่ในช่วง 90.54-91.46, 61.01-62.48 และ 17.78-35.87 % ตามลำดับ และโดยทั่วไปพบว่าการสะสมธาตุอาหารมีความแปรผันตามระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย ดังนั้นผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการปลูกหญ้าแฝกด้วยเทคนิคแท่นลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ควรใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน และใช้หญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี แต่หากน้ำมีบีโอดีและธาตุอาหารสูงสามารถใช้หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 ได้

Truong and Hart (2001) ศึกษาประสิทธิภาพหญ้าแฝกที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน (hydrponic system) เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากที่พักอาศัยในประเทศออสเตรเลีย ซึ่งประกอบด้วยน้ำจากถังบ่อเกรอะ ห้องครัวและห้องอาบน้ำ โดยปลูกหญ้าแฝกบนแท่นลอยน้ำในถังพลาสติกที่บรรจุน้ำเสีย 20 ลิตร มีค่าTKN และ TP เท่ากับ 100 และ 10 mg/l ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ดังกล่าวเท่ากับ 94และ 90% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. บ่ออะคริลิค ขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร สูง 81 เซนติเมตร จำนวน 2 บ่อ
2. ท่อ PVC ขนาด ½ นิ้ว
   -ยาว 46 เซนติเมตร จำนวน 6 ท่อ
   -ยาว 20 เซนติเมตร จำนวน 4 ท่อ
3. ข้อต่อ PVC ทำมุม 90 องศา ขนาด ½ นิ้ว จำนวน 8 ตัว
4. เทปกันน้ำรั่ว
5. กาวทาท่อ 1 กระปุก
6. ตาข่าย
7. สายรัดเคเบิลไทร์ ยาว 8 นิ้ว
8. โฟม
9. ถุงดำ
10. เชือก
11. กรรไกร
12. ไม้บรรทัด
13. กะละมัง
14. ซิลิโคนใส
15. ปืนยิงซิลิโคน
16. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น UB-10 ยี่ห้อ Denver Instrument ประเทศสหรัฐอเมริกา
17. เครื่องวัดความขุ่น (Turbidity Meter) รุ่น FLOC-6 ยี่ห้อ HACH ประเทศสเปน
18. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) รุ่น 223-241&223-245 ยี่ห้อ Multi-parameter analyser
19. ถ้วยระเหย (Evaporating dishes) ทำด้วยกระเบื้อง
20. ตู้อบ (Oven) รุ่น 737F บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
21. โถทำให้แห้ง (Desiccators)
22. เครื่องชั่งแบบละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น Five Easy Plus บริษัท Mettler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

23. เครื่องอังไอน้ำ (Water bath)

24. กระดาษกรองใยแก้ว GF/C เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร

25. ชุดกรวยกรองบุคเนอร์ (Buchner funnel)

26. เครื่องกรองสุญญากาศ รุ่น EYELA A-1000S บริษัท Jeiotech ประเทศเกาหลี

27. คีมคีบ (Forcep)

28. ชุดเครื่องย่อยสลาย (Digestion apparatus)

29. ชุดเครื่องกลั่นหาแอมโมเนีย

30. เครื่องอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible spectrophotometer) รุ่น UV 5300 บริษัทฮิตาชิ เอเชีย (ประเทศไทย) จำกัด

31. บริภัณฑ์เครื่องแก้วและอุปกรณ์พลาสติกสำหรับห้องปฏิบัติการ

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. น้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย (Ammonia)

2. สารละลายกรดบอริก (boric acid solution) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Loba Chemie ประเทศอินเดีย

4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

5. โซเดียมไธโอซัลเฟต (Na2S2O3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

7. สารละลายกรดนิโคตินิก (Nicotinic acid) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

8. สารละลายกรดซัลฟิวริก เกรดวิเคราะห์ บริษัท Acros Organic ประเทศเบลเยียม

9. สารละลายแอนติโมนีโพแทสเซียมทาเทรต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax ประเทศออสเตรเลีย

10. สารละลายแอมโนเนียมโมลิบเดต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

11. สารละลายแอสคอบิก 0.1 โมลาร์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

12. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_3PO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

13. สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Acros Organic ประเทศเบลเยียม

14. ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher ประเทศอังกฤษ

15.เมททิลเรด (Methyl red) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher ประเทศอังกฤษ

16. บรอมครีซอล กรีน (Bromocresol green) เกรดวิเคราะห์ บริษัท SDFCL ประเทศอินเดีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การทำแพลอยน้ำสำหรับวางหญ้าแฝก

1. ประกอบท่อ PVC ให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยใช้ ท่อ PVC ขนาด ½ นิ้ว ยาว 46 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อ และ ยาว 20 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อ ต่อกันโดยใช้ ข้อต่อ PVC ขนาด ½ นิ้ว ทำมุม 90 องศา จำนวน 4 ตัว เป็นต่อเชื่อม และทากาวทาท่อเพื่อให้เกิดการเชื่อมกันได้แน่นมากขึ้น

2. ตัดตาข่ายให้ได้ขนาด กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร

3. ประกอบท่อกับตาข่ายให้ยึดติดกัน โดยใช้สายเคเบิลไทร์

4. วางท่อยาว 46 เซนติเมตรไว้บนท่อที่ประกอบเป็นแพเรียบร้อยแล้ว วางเป็นแนวนอนยาวบนแพ จากนั้นใช้สายเคเบิลไทร์ยึดท่อให้ติดกัน

5. ร้อยเชือก 5 แถวเพื่อประคองหญ้าแฝก

6. นำโฟมมาวางไว้ด้านล่างของแพลอยน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลอย เมื่อประกอบสำเร็จจะได้แพลอยสำหรับวางหญ้าแฝกดังรูปที่ 3.1

(ก) (ข)

รูปที่ 3.1 แพลอยน้ำสำหรับวางหญ้าแฝก (ก)ภาพด้านบน (ข)ภาพด้านข้าง

3.3 บ่อทดลองที่ใช้ในการศึกษา

บ่อทดลองที่ใช้ในการศึกษาเป็นถังอะคริลิกทรงสี่เหลี่ยม ขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร สูง 81 เซนติเมตร (รูปที่ 3.2) ทำการยิงซิลิโคนใสที่รอยต่อของแผ่นอะคริลิกทั้ง 4 ด้าน และรอยต่อระหว่างก๊อกน้ำกับแผ่นอะคริลิค พร้อมกับติดเทปกันน้ำรั่วปิดบริเวณก้นบ่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 บ่ออะคริลิคที่ใช้ในการทดลอง

3.4 ขั้นตอนการอนุบาลหญ้าแฝกและการบรรจุลงแพลอยน้ำ

หญ้าแฝกสายพันธ์สงขลา 3 ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต1 โดยเป็นส่วนหนึ่งของโครงการหญ้าแฝกเฉลิมพระเกียรติ หญ้าแฝกที่ได้จะมีลักษณะมัดรวมกันเป็นกอ กอละ 100 ต้น

1. ตัดหญ้าแฝกให้ได้ขนาดความสูง 20 เซนติเมตร โดยวัดจากโคนต้นถึงยอด
2. เตรียมน้ำประปาใส่กะละมังให้มีความสูงท่วมรากของหญ้าแฝก
3. ใส่หญ้าแฝกที่เตรียมไว้ลงในกะละมัง ดังรูปที่ 3.3 (ก) และทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน (กองวิจัยพัฒนาการจัดการที่ดิน, 2564) เพื่อปรับสภาพหญ้าแฝกก่อนที่จะนำไปบำบัดน้ำทิ้ง
4. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด จะนำกอหญ้าแฝกบรรจุลงในทุ่นลอย แถวละ 10 ต้น จำนวน 5 แถว ลักษณะของทุ่นลอยบรรจุหญ้าแฝกที่ครบจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.3 (ข) ทำการวัดความยาวของราก และตัดลำต้นให้มีความสูง 20 เซนติเมตร เมื่อจะทำไปทดลองบำบัดในขั้นต่อไป

(ก)

(ข)

รูปที่ 3.3 (ก) การอนุบาลหญ้าแฝก และ (ข) แพบรรจุหญ้าแฝก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำที่จ้วงเก็บมาจากบ่อผึ่ง ซึ่งรับน้ำทิ้งที่ระบายจากหอหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ราช โคเจนเนอเรชั่น ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 3.1 สำหรับสมบัติของน้ำที่ไม่สามารถวัดได้ทันที จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำพร้อมกับรักษาสภาพด้วยวิธีการดังแสดงในตารางที่ 3.2 เก็บตัวอย่างน้ำโดยการเปิดวาวล์ที่ความสูงกลางบ่อ และเก็บใส่ขวดโพลีเอทิลีน ขนาด 1 ลิตร จำนวน 2 ขวด

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการที่ใช้วิเคราะห์

สมบัติที่วิเคราะห์	เครื่องมือ/วิธีการวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)*	เครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)	ทุกวัน
ความขุ่น (Turbidity)*	เครื่องมือวัดความขุ่น (Turbidity)	ทุกวัน
การนำไฟฟ้า (Conductivity)*	เครื่องมือวัดการนำไฟฟ้า(Conductivity meter)	ทุกวัน
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid, TSS)	เทคนิคการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method 2540 D, AWWA, 2017)	ทุกสัปดาห์
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid, TDS)	เทคนิคการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method 2540 C, AWWA, 2017)	ทุกสัปดาห์
ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen,TKN)	เคเจลดาห์ล (Kjeldahl method, APHA, AWWA, 1995)	ทุกสัปดาห์
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)	UV-Visible Spectrophotometer (Ascorbic Acid Method 4500-P E) (AWWA,2017)	ทุกสัปดาห์

*ทำการวิเคราะห์ทันทีหลังการเก็บตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การรักษาตัวอย่างน้ำและระยะเวลายอมให้เก็บ

พารามิเตอร์	การรักษาตัวอย่างน้ำ	ระยะเวลายอมให้เก็บ
TDS และ TSS	แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	7 วัน
TKN	เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นจน pH ของน้ำตัวอย่างน้อยกว่า2 และแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	28 วัน
Total Phosphorus	เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นจน pH ของน้ำตัวอย่างน้อยกว่า2 และแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	28 วัน

3.6 ศึกษาระยะเวลากักพักน้ำต่อความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งด้วยหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำ

1.จ้วงเก็บน้ำตัวอย่างและเติมลงในบ่ออะคริลิค จนมีระดับความสูงของน้ำในถังเท่ากับ 61 เซนติเมตร ทั้งสองถัง

2.นำแพลอยน้ำที่ไม่มีหญ้าแฝกใส่ลงในบ่ออะคริลิกใบที่ 1 (บ่อควบคุม) และแพลอยน้ำที่บรรจุหญ้าแฝกที่เตรียมไว้ในข้อ 3.4 ใส่ลงในบ่ออะคริลิกใบที่ 2 (บ่อทดลอง) ดังแสดงในรูปที่ 3.4

3.คลุมบ่ออะคริลิคด้วยถุงดำดังแสดงในรูปที่ 3.5 เพื่อจำลองสภาพปรากฏให้เหมือนกับบ่อผึ่งที่เป็นบ่อทึบ

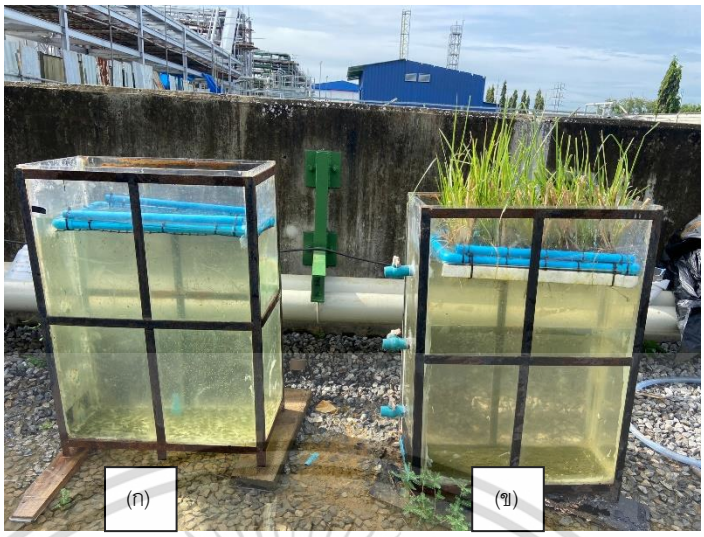
4.ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน

5.เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 2 ลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 3.1 ยกเว้นค่า pH ค่าความขุ่น (Turbidity) และค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ที่จะทำการตรวจวัดทุกวัน พร้อมกับทำการวัดความสูงและความยาวรากของหญ้าแฝกในบ่อทดลอง

6.เติมน้ำตัวอย่างปริมาณเท่ากับที่จ้วงเก็บในข้อ 5 ลงในบ่ออะคริลิกทั้งสองบ่อ พร้อมกับตั้งทิ้งไว้ต่อจนระยะเวลากักพักน้ำครบ 14 วัน จะทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีเช่นเดียวกับที่ระบุในข้อ 5

7.เติมน้ำตัวอย่างในลักษณะเดียวกับที่ระบุในข้อ 6 และตั้งทิ้งไว้ต่อจนระยะเวลากักพักน้ำครบ 21 วัน ทำการเก็บตัวอย่างน้ำและดำเนินการเช่นเดียวกับที่ระบุในข้อ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ลักษณะของระบบบำบัดที่ทำการศึกษา (ก) บ่อควบคุม และ (ข) บ่อทดลอง ซึ่งบรรจุแพลอยที่มีหญ้าแฝก

รูปที่ 3.5 สภาพปรากฏของบ่อควบคุมและบ่อทดลองเมื่อนำถุงดำมาคลุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

สหกิจศึกษาฉบับนี้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ราช โคเจนเนอเรชั่น ด้วยหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา 3 ที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำ พร้อมทั้งศึกษาระยะเวลากักพักน้ำที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้ง ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 สมบัติของน้ำตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำที่จ้วงเก็บมาจากบ่อผึ่ง หรือบ่อรีเคลม (อ้างอิงชื่อจากการสอบถามผู้ที่เกี่ยวข้อง) ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ราช โคเจนเนอเรชั่น จังหวัดปทุมธานี ลักษณะทางกายภาพของบ่อแสดงดังรูปที่ 4.1 โดยน้ำในบ่อดังกล่าวเป็นน้ำที่ระบายมาจากหอหล่อเย็นและนำมากักพักไว้ ก่อนปล่อยออกภายนอกโรงไฟฟ้า

รูปที่ 4.1 ลักษณะบ่อพักน้ำที่จ้วงเก็บน้ำตัวอย่าง

จากรูปที่ 4.1 พบว่าน้ำในบ่อมีสีเขียวและมีความขุ่น ผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำในบ่อพัก พบว่า น้ำมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด โดยมีค่าพีเอช 8.16 ความขุ่น 6.56 NTU การนำไฟฟ้า 2,070 uS/cm ของแข็งละลายได้ 1,604 mg/L ของแข็งแขวนลอย 50.67 mg/L ทีเคเอ็น 3.27 mg/L และฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.94 mg/L (ตารางที่ 4.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางคุณภาพน้ำก่อนการบำบัด

พารามิเตอร์	**ค่าที่วัดได้**	**มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง** (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2559.)
อุณหภูมิ (Temperature)	32 °C	40 °C
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	8.16	5.5-9
ความขุ่น (Turbidity)	6.56 NTU	-
การนำไฟฟ้า (Conductivity)	2,070 uS/cm	-
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid, TDS)	1,604 mg/L	ไม่เกิน 3,000 mg/L
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid, TSS)	50.67 mg/L	ไม่เกิน 50 mg/L
ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen,TKN)	3.27 mgN/L	ไม่เกิน 100 mgN/L
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)	0.94 ug-P/L	ไม่เกิน 2 mg/L

4.2 ผลการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกในระยะการทดลอง

หญ้าแฝกที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา 3 ซึ่งมีความสูงของลำต้น 20 เซนติเมตร และมีความยาวราก 14 เซนติเมตร (รูปที่ 4.2ก) เมื่อนำมาบรรจุเป็นทุ่นลอยในระบบบำบัดและให้ทำหน้าที่ปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้ระยะระยะเวลากักพักชลศาสตร์นาน 7, 14 และ 21 วัน พบว่าหญ้าแฝกสามารถเจริญเติบโตได้ดีตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา (รูปที่ 4.2ข-4.2ง) เมื่อทำการวัดส่วนต่างๆของพืชพบว่าความยาวของรากและความสูงของลำต้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง (ตารางที่ 4.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 4.2 ลักษณะของ (ก) หญ้าแฝกก่อนบำบัด และหลังบำบัดที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ (ข) 7 วัน (ค) 14 วัน และ (ง) 21 วัน

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกในระยะการทดลอง

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์	ความยาวราก (เซนติเมตร)	ความสูงลำต้น (เซนติเมตร)
ก่อนบำบัด	14	20
7 วัน	15	27
14 วัน	17	40
21 วัน	18	50

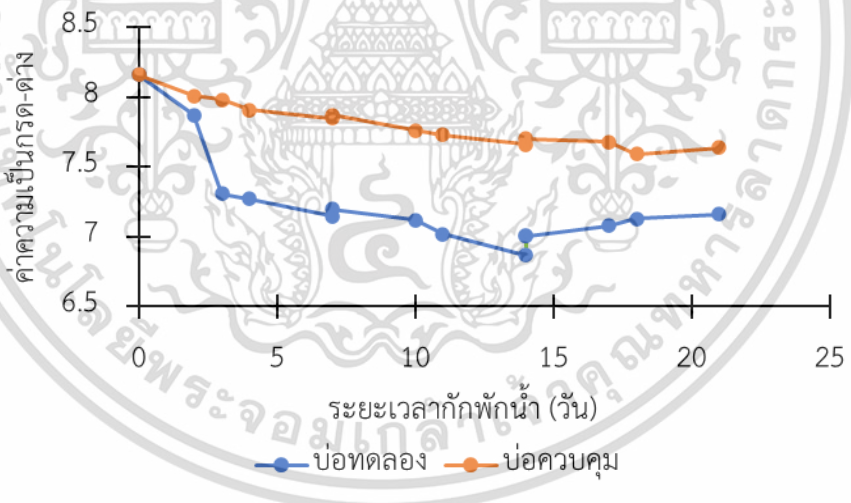
4.3 คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัดของหญ้าแฝก

4.3.1 พีเอช

ผลการตรวจวัดพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดในบ่อทดลองที่มีแพลอยน้ำของหญ้าแฝกและบ่อควบคุมที่ไม่มีหญ้าแฝกพบว่า พีเอชของน้ำมีแนวโน้มลดลงจากค่าเริ่มต้น เมื่อระยะเวลากักพักน้ำนานขึ้น (รูปที่ 4.3) การเปลี่ยนแปลงของพีเอชในบ่อทดลองที่มีหญ้าแฝกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าเมื่อเทียบกับบ่อควบคุม โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดในบ่อทดลองมีค่าพีเอชลดลงจาก 8.16 เหลือประมาณ 7.31 เมื่อบำบัดน้ำตัวอย่างเป็นเวลา 3 วัน อัตราการลดลงของพีเอชมีแนวโน้มเกิดขึ้นช้าลง โดยพีเอชมีค่าเท่ากับ 7.15 เมื่อกักพักไว้ 7 วัน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 6.87 เมื่อใช้ระยะเวลากักน้ำนานขึ้นเป็น 14 วัน เมื่อเพิ่มระยะเวลากักพักน้ำเป็น 21 วัน พบว่าพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 7.16 สำหรับพีเอชของน้ำในบ่อควบคุมพบว่ามีแนวโน้มลดลงเช่นกันแต่ในอัตราช้ากว่าเมื่อเทียบกับบ่อทดลอง โดยพีเอชที่ระยะเวลากักพักน้ำ 7, 14 และ 21 วันมีค่าเท่ากับ 7.85, 7.66 และ 7.64 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการบำบัดด้วยหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำช่วยปรับค่าพีเอชของน้ำในบ่อผึ่งให้มีค่าเป็นกลางได้ ทั้งนี้ค่าพีเอชที่ลดลงอาจเป็นผลมาจากกระบวนการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียมไอออนให้เป็นไนไตร์ท และไนเตรท โดยกระบวนการไนตริฟิเคชั่นจะมีไฮโดรเจนไอออน (H^+) เป็นผลมากจากปฏิกิริยา เมื่อไฮโดรเจนไอออนละลายน้ำจะทำให้น้ำมีค่าพีเอชลดลง (วิลาวัลย์, 2552) สำหรับในบ่อทดลองที่มีค่าพีเอชต่ำกว่าในบ่อควบคุมที่ไม่มีการปลูกหญ้าแฝก อาจเป็นผลมาจากรากพืชมีการดูดซับธาตุอาหารในน้ำเสีย เช่นแอมโมเนียม ไปใช้ในการเจริญเติบโต อีกทั้งในบ่อทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกอาจมีการย่อยสลายของรากที่หลุดร่วงลงน้ำโดยจุลินทรีย์ ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิกได้ ทำให้ค่าพีเอชของบ่อทดลองลดลงต่ำกว่าพีเอชของบ่อควบคุม



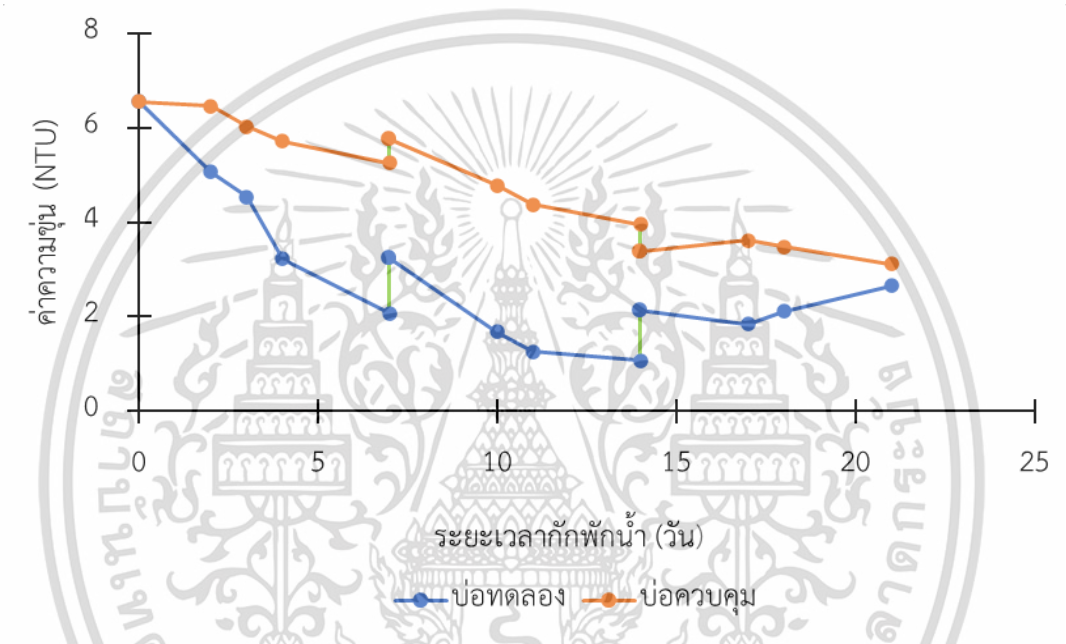
รูปที่ 4.3 ผลของระยะเวลากักพักน้ำต่อพีเอชของน้ำหลังการบำบัด

4.3.2 ความขุ่น (Turbidity)

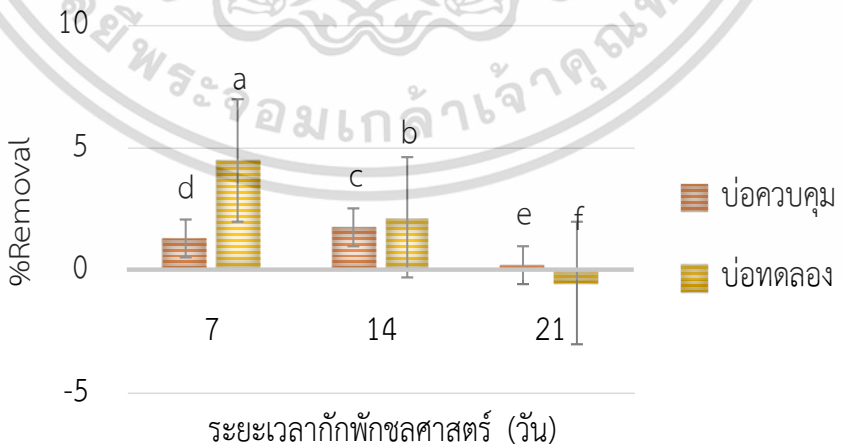
ผลการตรวจวัดความขุ่นของน้ำในบ่อทดลองที่มีแพลอยน้ำของหญ้าแฝกเทียบกับบ่อควบคุมที่ไม่มีหญ้าแฝกพบว่าความขุ่นมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลากักพักน้ำนานขึ้น โดยความขุ่นของน้ำในบ่อทดลองที่มีการใช้หญ้าแฝกมีค่าลดลงจาก 6.56 NTU เหลือ 2.08 NTU เมื่อทำการทดลองเป็นเวลา 7 วัน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.07 เมื่อกักน้ำไว้นาน 14 วัน สำหรับในบ่อควบคุมที่ไม่มีหญ้าแฝก ความขุ่นของน้ำมีค่าลดลงเนื่องจากในน้ำมีจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ จำทำให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ความขุ่นลดลงแต่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับบ่อทดลองที่ระยะเวลากักพักน้ำเท่ากัน โดยความขุ่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 5.25, 3.96, 3.11 ที่ระยะเวลากักพักน้ำ 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ (รูปที่ 4.4) ทั้งนี้ระบบรากที่ยาวและสานกันแน่นของหญ้าแฝก ทำให้สามารถดักตะกอนหรืออนุภาคที่แขวนลอยในน้ำได้ดี ส่งผลให้ความขุ่นของน้ำในบ่อทดลองมีค่าลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับบ่อควบคุมที่ไม่มีหญ้าแฝก โดยจากค่าทางสถิติระหว่างชุดบ่อทดลองและชุดบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 14 และ 21 วัน พบว่าที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 วันของบ่อทดลอง มีความแตกต่างจาก 14 และ 21 วันอย่างมีนัยสำคัญจึงสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลากักพักชลศาตร์ที่เหมาะที่สุดในการลดค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 7 วัน (รูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.4 ผลของระยะเวลากักพักน้ำต่อความขุ่นของน้ำ

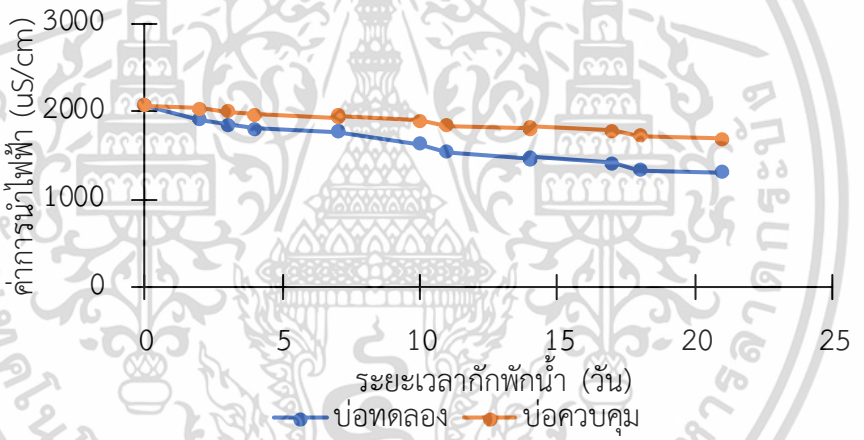


รูปที่ 4.5 ค่าทางสถิติของระยะเวลากักพักน้ำต่อความขุ่นของน้ำ

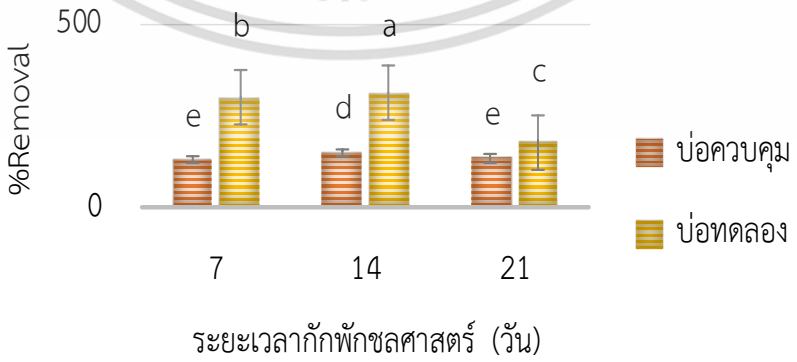
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การนำไฟฟ้า (Conductivity)

การนำไฟฟ้าเป็นการวัดความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะมีค่าผันแปรตามจำนวนและชนิดไอออนทั้งหมดที่อยู่ในน้ำ การเปลี่ยนแปลงของค่านี้จะสะท้อนถึงการเพิ่มหรือลดของไอออนละลายน้ำ โดยเฉพาะสารประกอบอนินทรีย์ที่ละลายและแตกตัวให้ไอออนบวกและลบในน้ำ (วิลาวัลย์, 2552) ผลการตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในบ่อทดลองที่มีแพลอยน้ำของหญ้าแฝกและบ่อควบคุมที่ไม่ได้มีการใช้หญ้าแฝกพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ตามระยะเวลากักพักน้ำที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.6) ทั้งนี้ค่าการนำไฟฟ้าที่ลดต่ำกว่าในบ่อทดลองที่มีหญ้าแฝกเมื่อเทียบกับบ่อควบคุม เนื่องจากหญ้าแฝกสามารถดึงธาตุอาหารซึ่งเป็นธาตุที่มีประจุ เช่นไนเตรทไอออน (NO_3^-) แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และออร์โธฟอสเฟต ไปใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าในบ่อทดลองมีค่าลดลง (วิลาวัลย์, 2552) จากค่าทางสถิติพบว่าที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 14 วันของบ่อทดลอง มีความแตกต่างจาก 7 และ 21 วันอย่างมีนัยสำคัญจึงสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่เหมาะที่สุดในการลดค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 14 วัน (รูปที่ 4.7)



รูปที่ 4.6 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในบ่อทดลองที่มีหญ้าแฝก (●) และบ่อควบคุม (●)

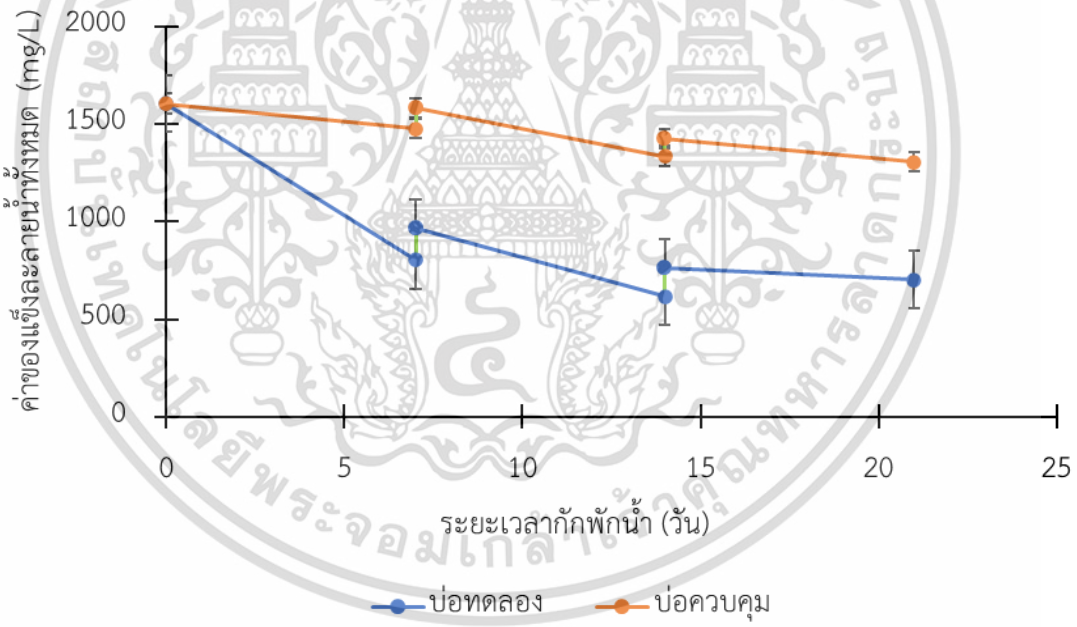


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 ค่าทางสถิติของระยะเวลากักพักน้ำต่อค่าการนำไฟฟ้า

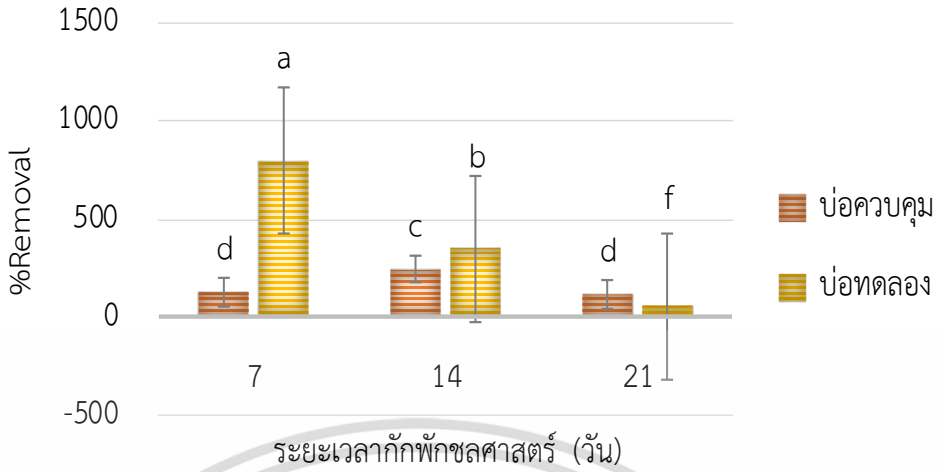
4.3.4 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid ,TDS)

ผลการตรวจวัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมดหรือค่าทีดีเอสของน้ำในบ่อทดลองที่มีแพลอยน้ำของหญ้าแฝกพบว่า มีปริมาณของแข็งละลายน้ำต่ำลงจากเริ่มต้น 1604±4.00 mg/L เหลือ 804±4.00 mg/L, 616±4.00 mg/L และ 701±2.31 mg/L เมื่อระยะเวลากักพักน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 49.88, 36.19, 7.72 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งละลายน้ำในบ่อควบคุมเกิดขึ้นน้อยกว่าที่พบในบ่อทดลองที่มีหญ้าแฝก ค่าทีดีเอสที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 1,475±2.31 mg/L, 1,335±2.31 mg/L และ 1,305±2.31 mg/L เมื่อระยะเวลากักพักน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ (รูปที่ 4.8) แสดงให้เห็นว่าการบำบัดด้วยหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำช่วยลดปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดได้เป็นอย่างดีเมื่อเทียบกับบ่อควบคุมที่ไม่มีการบำบัดด้วยหญ้าแฝก โดยจากค่าทางสถิติพบว่าที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 วันของบ่อทดลอง มีความแตกต่างจาก 14 และ 21 วันอย่างมีนัยสำคัญจึงสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลากักพักชลศาตร์ที่เหมาะที่สุดในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดอยู่ในช่วง 7 วัน (รูปที่ 4.9)



รูปที่ 4.8 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในบ่อทดลองที่มีหญ้าแฝก (●) และบ่อควบคุม (●)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

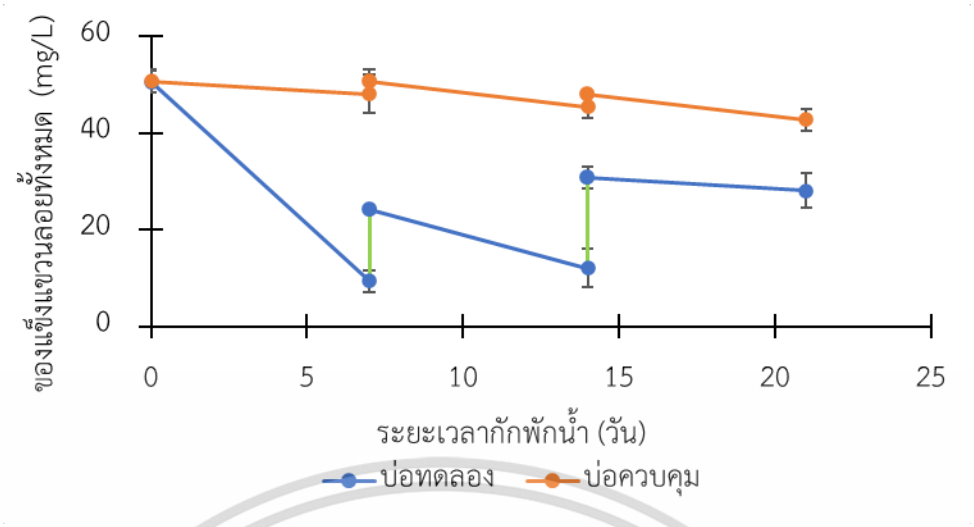


รูปที่ 4.9 ค่าทางสถิติของระยะเวลากักพักน้ำต่อปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

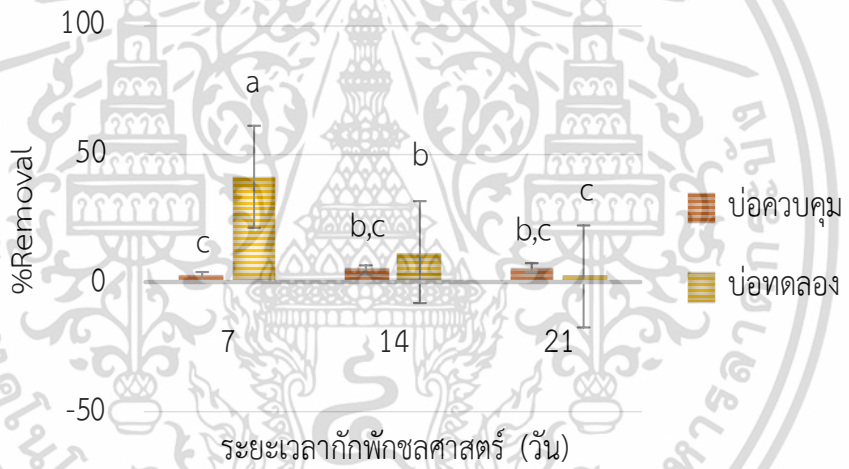
4.3.5 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid, TSS)

ผลการวัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำในบ่อทดลองที่มีแพลอยน้ำของหญ้าแฝกพบว่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำมีค่าลดลงจาก 50.67±2.31 mg/L เหลือ 9.33±2.31 mg/L เมื่อกักพักน้ำนาน 7 วัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 12±4.00 mg/L และ 28±3.61 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 81.58, 50.00, 12.88 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.10) สำหรับในบ่อควบคุมที่ไม่ได้มีการใช้หญ้าแฝกพบว่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับในบ่อทดลอง โดยของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำในบ่อควบคุมยังมีค่าสูงกว่า 40 mg/L. เมื่อกักพักน้ำไว้นาน 21 วัน ทั้งนี้ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำมีค่าลดต่ำกว่าในบ่อทดลองที่มีหญ้าแฝกเมื่อเทียบกับบ่อควบคุม เนื่องจากการปลูกพืชเป็นการป้องกันแสงแดดที่ส่องลงสู่น้ำ ทำให้สาหร่ายในน้ำมีปริมาณลดลง นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจากการกรองโดยใช้รากของหญ้าแฝกส่งผลให้ของแข็งแขวนลอยในน้ำมีปริมาณที่ลดลงได้มากกว่าบ่อควบคุม จากค่าทางสถิติพบว่าที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 วันของบ่อทดลอง มีความแตกต่างจาก 14 และ 21 วันอย่างมีนัยสำคัญจึงสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลากักพักชลศาตร์ที่เหมาะที่สุดในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดอยู่ในช่วง 7 วัน (รูปที่ 4.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในบ่อทดลองที่มีหญ้าแฝก (●) และบ่อควบคุม (●)



รูปที่ 4.11 ค่าทางสถิติของระยะเวลากักพักน้ำต่อปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

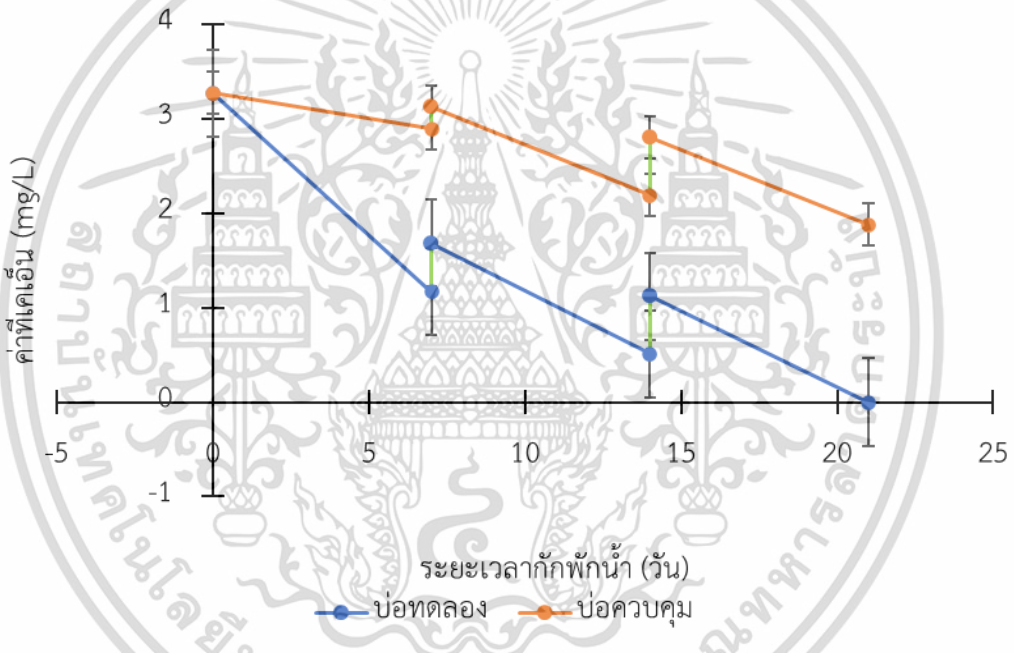
4.3.6 ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)

ผลการวัดค่าทีเคเอ็น ซึ่งเป็นค่าผลรวมของปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียในน้ำ พบว่า ค่าทีเคเอ็นของน้ำในบ่อบำบัดทั้งสองบ่อมีการลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลากักพักน้ำที่เพิ่มขึ้นจาก 7 วันเป็น 14 และ 21 วัน (รูปที่ 4.12) ทั้งนี้การลดลงของค่าทีเคเอ็นในบ่อบำบัด อาจเกิดขึ้นเนื่องจากสภาพการทดลองนี้มีออกซิเจน จึงคาดว่าเป็นผลมาจากกระบวนการแอมโมนิฟิเคชั่น (ammonification) โดยอินทรีย์ไนโตรเจนถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งสามารถบำบัดโดยการระเหย การดูดซึมโดยพืชและการนำไปใช้โดยจุลินทรีย์แล้วจึงเกิดกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

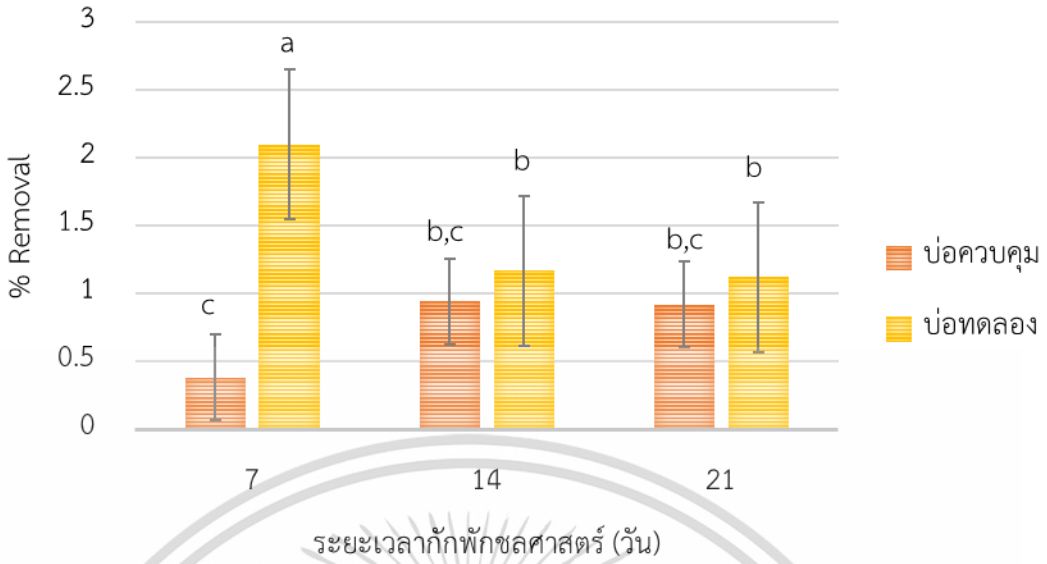
ไนตริฟิเคชั่น (nitrification) โดยแอมโนเนียจะถูกออกซิไดซ์โดย nitrifying bacteria เปลี่ยนเป็นไนไตร์ทและไนเตรทไนโตรเจน ซึ่งสามารถบำบัดโดยการดูดซึมของพืชและการตกตะกอนของสารอินทรีย์ไนโตรเจน

เมื่อเปรียบเทียบการลดลงของค่าทีเคเอ็นในบ่อบำบัดทั้งสองบ่อ พบว่าบ่อทดลองที่มีหญ้าแฝกเกิดขึ้นสูงกว่าในบ่อควบคุม เนื่องจากหญ้าแฝกจำเป็นต้องใช้ไนโตรเจนในการเจริญเติบโตโดยการดูดซึมไนโตรเจนไปสะสมในลำตัน ใบ และราก รวมถึงไนโตรเจนยังมีส่วนในการแตกหน่อและกอของหญ้าแฝก โดยจากค่าทางสถิติพบว่าที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 วันของบ่อทดลอง มีความแตกต่างจาก 14 และ 21 วันอย่างมีนัยสำคัญจึงสามารถสรุปได้ว่าที่ระยะเวลากักพักชลศาตร์ 7 วัน มีการใช้ปริมาณทีเคเอ็นมากกว่าช่วงอื่นที่ (รูปที่ 4.13) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย (วิลาวัลย์, 2552)



รูปที่ 4.12 ค่าทีเคเอ็นในบ่อทดลองที่มีหญ้าแฝก (●) และบ่อควบคุม (●)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

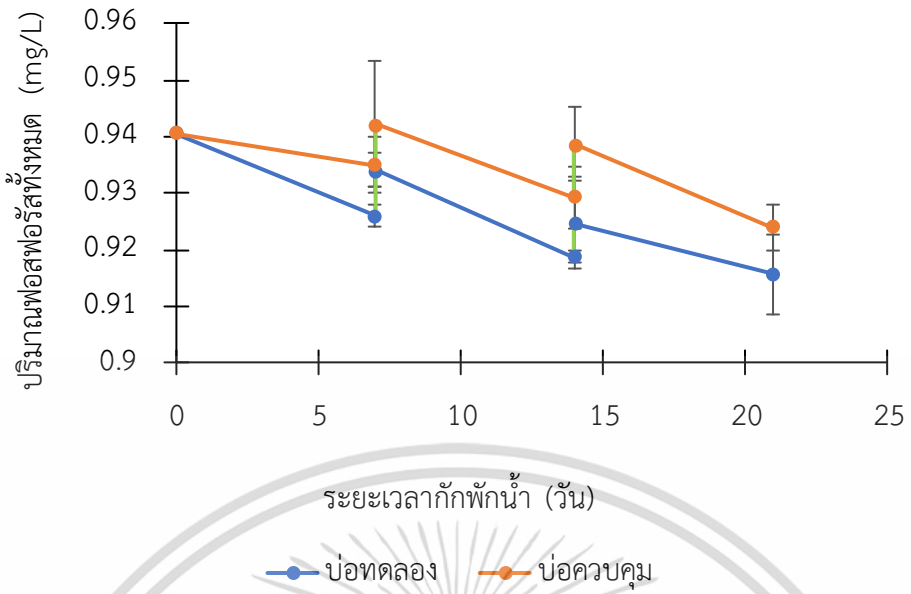


รูปที่ 4.13 ค่าทางสถิติของระยะเวลากักพักน้ำต่อค่าทีเคเอ็น

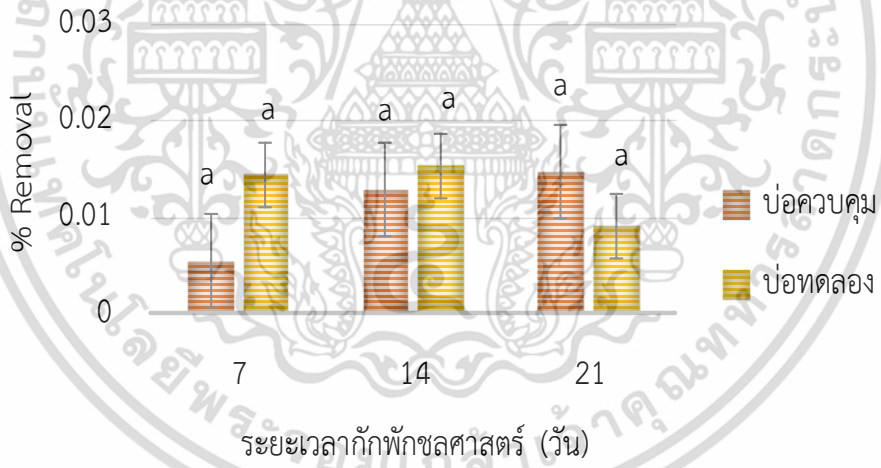
4.3.7 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)

ผลการตรวจวัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำในบ่อทดลองที่มีแพลอยน้ำของหญ้าแฝกและบ่อควบคุมที่ไม่มีการใช้หญ้าแฝกพบว่า ฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลากักพักน้ำที่เพิ่มขึ้นจาก 7 วันเป็น 14 และ 21 วันตามลำลับ (รูปที่ 4.14) เนื่องจากฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจะอยู่ในรูปฟอสเฟต เช่น ออร์โธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต และอินทรย์ฟอสเฟต ซึ่งอาจพบฟอสฟอรัสในรูปสารละลาย ของแข็งแขวนลอย และตะกอนก้นบ่อ เมื่อเปรียบเทียบการลดลงของค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในบ่อบำบัดทั้งสองบ่อ พบว่าบ่อทดลองที่มีหญ้าแฝกเกิดขึ้นสูงกว่าในบ่อควบคุม เนื่องจากหญ้าแฝกมีการดูดซับฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของราก โดยจากค่าทางสถิติพบว่าที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7,14 และ 21 วันอย่างไม่มีนัยสำคัญจึงสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลากักพักชลศาสตร์และการใช้หญ้าแฝกในการบำบัดน้ำทิ้งไม่มีผลต่อการลดลงของฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำ (รูปที่ 4.15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในบ่อทดลองที่มีหญ้าแฝก (●) และบ่อควบคุม (●)



รูปที่ 4.15 ค่าทางสถิติของระยะเวลากักพักน้ำต่อค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากหอหล่อเย็น ด้วยหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำ เพื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), การนำไฟฟ้า (Conductivity), ความขุ่น (Turbidity) , ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid ,TDS) และ ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid ,TSS) ในบ่อผึ่งก่อนถูกส่งออกไปภายนอกโรงไฟฟ้า และวิเคราะห์ระยะเวลาที่กักพักทางชลศาสตร์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้ง ด้วยหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิค แพลอยน้ำ โดยศึกษาระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ 21 วัน ทำการทดลองในบ่ออะคริลิคขนาด 30x60x81 เซ็นติเมตร จำนวน 2 บ่อ แบ่งเป็นบ่อทดลอง (มีแพลอยน้ำของหญ้าแฝก) และบ่อควบคุม (ไม่มีแพลอยน้ำ) จากการศึกษาพบว่า พีเอช ความขุ่น ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วง 7 วัน โดยค่าพีเอชมีค่าลดลงจาก 8.16 เหลือ 7.58 ความขุ่นมีค่าลดลงจาก 6.56 NTU. ลดเหลือ 2.08 NTU. ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดลงจาก 2,070 uS/cm เหลือ 1,768 uS/cm ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมีค่า 1,604 mg/L ลดเหลือ 804 mg/L และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีค่า 50.67 mg/L ลดเหลือ 9.33 mg/L. เมื่อผ่านระยะกักพักชลศาสตร์ได้ 7 วัน โดยคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 12.38, 68.29, 17.08, 49.88, 81.58 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลากักชลศาสตร์น้ำที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำทิ้งจากหอหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าด้วยหญ้าแฝก ที่ปลูกด้วยเทคนิคแบบแพลอยน้ำ คือกักพักชลศาสตร์ 7 วัน นอกจากนี้จากการทดลองพบว่าหญ้าแฝกสามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำทิ้ง โดยมีความสูงของต้นเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 10 เซนติเมตร/สัปดาห์ และความยาวรากยาวเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.3 เซนติเมตร/สัปดาห์

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ภายในโรงไฟฟ้า เช่นใช้ในการลดน้ำต้นไม้ เพื่อลดต้นทุนในการซื้อนำประปามาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2541. การใช้หญ้าแฝกบำบัดน้ำเสียได้อย่างไร. กรุงเทพมหานคร: กลุ่มวิจัย และ

พัฒนาการใช้ประโยชน์หญ้าแฝกในการจัดการดิน สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน

กรมพัฒนาที่ดิน. 2541. การทำแพหญ้าแฝกบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร: กลุ่มวิจัยและพัฒนาการ

กรมพัฒนาที่ดิน. 2541. ความรู้เรื่องหญ้าแฝก. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ใช้ประโยชน์หญ้าแฝกในการจัดการดิน สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน

กรมควบคุมมลพิษ. 2562. การกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งเฉพาะประเภท

อุตสาหกรรม. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.pcd.go.th/wp-

content/uploads/2022/07/pcdnew-2022-07-12_09-04-51_750755.pdf

เจษฎาพงศ์ สีพรหม, เฉลิมวุฒิ เพ็ชรนิคม และอมรา พิมพวงทอง. 2555. "การศึกษาประสิทธิภาพของ

หญ้าแฝกสายพันธุ์สงขลา3 ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยเทคนิคแท่นลอยน้ำ." ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และ

เทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

ดารัตน์ สังสัม และพิมพ์ชนก เลิศรศนันทการ.2557 . "การสลายสารนอลด้วยหญ้าแฝก." ปริญญา

วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะ

วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ดารินทร์ แซ่ตั้ง. 2551. “การใช้หญ้าแฝกในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงนม.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์

มหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. 2560. กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน.

[Online]. เข้าถึงได้จาก :

http://reg3.diw.go.th/diw_info/wp-content/uploads/m.94-9.pdf

มนต์ชัย จันทร์ศิริ. 2548. “ประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแท่นลอยน้ำในการบำบัดน้ำ

เสียชุมชน.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิต

วิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

วิลาวัลย์ ฤทธิกาญจน์. 2552. “ประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำในการบำบัด
ขยะมูลฝอย” ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม(สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2022. บึงประดิษฐ์ บำบัดน้ำเสีย. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.nupress.grad.nu.ac.th/บึงประดิษฐ์/#1-บ-งประด-ษฐ

Green World. 2017. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.gwstechno.com/th/ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงป/

Rodger, B. Andrew, D. and Eugene, w. 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington : American Public Health Association.

Truong, P and Hart, B. 2001. Vetiver system for wastewater treatment. [Online]. Available : https://www.vetiver.org/PRVN_wastewater_bul.pdf

Wikipedia.org. หญ้าแฝก. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://th.wikipedia.org/wiki/หญ้าแฝก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์

ก.1 การวิเคราะห์ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid ,TDS)

การวิเคราะห์ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด สามารถทำได้โดยวิธีการชั่งน้ำหนัก โดยมีขั้นตอนต่อไปนี้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1) ถ้วยระเหย (Evaporating dishes) ทำด้วยกระเบื้อง

2) ตู้อบ ควบคุมอุณหภูมิที่ 103-105 องศาเซลเซียส

3) โถทำให้แห้ง (Desiccators)

4) เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance) สามารถชั่งได้ถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง

5) เครื่องอังไอน้ำ (Water bath)

การทดลอง

1) นำถ้วยระเหยนำไปอบแห้งที่ 103-105 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นในโถทำให้แห้งและชั่งน้ำหนัก

2) นำตัวอย่างน้ำมากรองเอาสารแขวนลอยยออกให้หมดก่อน โดยกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วและเครื่องกรองสุญญากาศ มาเทลงในถ้วยระเหย

3) นำไประเหยน้ำให้แห้งบนเครื่องอังไอน้ำจนแห้ง แล้วนำไปเข้าตู้อบ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

4) ทิ้งให้เย็นในโถทำให้แห้ง แล้วชั่งหาน้ำหนักที่เปลี่ยนไปของถ้วยระเหย

การคำนวณหาของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

$$\text{ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด } \left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{(A-B)*1000}{\text{ปริมาณน้ำตัวอย่าง } (mL)}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของถ้วยละเหยและของแข็งที่แห้ง (mg)

B = น้ำหนักของถ้วยระเหย (mg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 การของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid, TSS)

การวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด สามารถทำได้โดยวิธีการชั่งน้ำหนัก โดยมีขั้นตอนต่อไปนี้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1) กระดาษกรองใยแก้ว GF/C เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร

2) ชุดกรวยกรองบุคเนอร์ (Buchner funnel)

3) เครื่องกรองสุญญากาศ

4) โถทำให้แห้ง (Desiccators)

5) ตู้อบ ควบคุมอุณหภูมิที่ 103-105 องศาเซลเซียส

6) เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance) สามารถชั่งได้ถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง

7) คีมคีบ (Forcep)

การทดลอง

1) นำกระดาษกรองไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง และชั่งน้ำหนัก

2) วางกระดาษกรองใยแก้ว GF/C ลงในกรวยบุคเนอร์ที่ต่อเข้ากับเครื่องกรองสุญญากาศ

3) ตวงน้ำตัวอย่าง แล้วเทลงในกรวยบุคเนอร์และล้างด้วยน้ำกลั่น 10 mL. จากนั้นเปิดเครื่องกรองสุญญากาศทิ้งไว้ 3 นาที

4) นำกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง จากนั้นชั่งน้ำหนักที่ปลี่ยนไปของกระดาษกรอง

การคำนวณหาของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

$$\text{ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด}\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{(A-B)*1000}{\text{ปริมาณน้ำตัวอย่าง}\ (mL)}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของกระดาษกรองและของแข็งที่แห้ง (mg)

B = น้ำหนักของกระดาษกรอง (mg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)

การวิเคราะห์ทีเคเอ็นสามารถทำได้โดยวิธีเคเจลดาห์ล (Kjeldahl Method) โดยมีขั้นตอนต่อไปนี้

การเก็บรักษาน้ำตัวอย่าง

ควรเก็บตัวอย่างน้ำในขวดแก้วหรือขวดโพลีเอทิลีนในกรณีที่ไม่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทันที ให้เติม H_2SO_4 เข้มข้น 2 mL. ต่อตัวอย่างน้ำ 1 L. โดยให้มี pH น้อยกว่า 2 แล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

เครื่องมือและอุปกรณ์

1) ชุดเครื่องย่อยสลาย (Digestion apparatus) ประกอบด้วยขวดเจลดาห์ล ขนาน 800 mL. และเตาให้ความร้อน (heating mental) ที่ให้ความร้อน ขนาด 300-400 องศาเซลเซียส (การย่อยต้องทำในตู้ดูดควันที่มีอุปกรณ์สำหรับดักจับไอกรดที่กิดขึ้นจากการย่อย)

2) ชุดเครื่องกลั่นหาแอมโมเนีย

3) ขวดเจลดาห์ล ขนาด 800 mL.

4) กระบอกตวง ขนาด 25, 50, 100, 500 mL.

5) ปิเปต (Transfer Pipette) ขนาด 5, 10 mL.

6) ปิเปต (Volumetric Pipette) ขนาด 10, 25, 50 mL.

7) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 mL.

8) ขวดวัดปริมาตร (Volummetric flask) ขนาด 100 mL.

9) บิวเรต ขนาด 50 mL.

10) บีกเกอร์ ขนาด 25, 50 mL.

การเตรียมสารเคมี

1) น้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย (Ammonia)

2) สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator solution)

ละลายเมธิลเรด 200 mg. ในเอธิลแอลกอฮอล์ 95% หรือในไอโซไพรพิลแอลกอฮอล์ 100 mL. และละลายเมธิลีนบูล 100 mg. ในเอธิลแอลกอฮอล์ 95% หรือในไอโซไพรพิลแอลกอฮอล์ 50 mL. นำสารทั้งสองชนิดมาผสมกัน สารละลายนี้ไม่ควรเก็บเกิน 1 เดือน

3) สารละลายกรดบอริก (boric acid solution)

ละลายบอริก (H_3BO_3) 20 g. ในน้ำกลั่น เจือจางให้เป็น 1 L.

4) สารละลายย่อยสลาย (Disestion Reagent)

ชั่งสารโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 134 g. และสารคอปเปอร์ซัลเฟต ($CUSO_4$) จำนวน 7.3 g. นำมาผสมกัน และเติมน้ำกลั่น 800 mL. คนให้ทั่วจนสารละลายหมด จากนั้นค่อยๆเติมกรดซัลฟิวริก

เอกสารนี้เป็นเอกสาร ไม่ว่ากรณี

เข้าข้น (cone. H_2SO_4) จำนวน 134 mL. ปรับปริมาตรน้ำกลั่นให้ได้ 1 L. สารละลายนี้ควรเก็บในอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการตกผลึก

5) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) - โซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500 g. และโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) 25 g. ในน้ำและเจือจางเป็น 1 L.

6) สารละลายกรดกลูตามิก (Glutamic acid) เข้มข้น 1000 mg/L หรือเท่ากับ 95.14 mgN/L อบกลูตามิก ที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถอบแห้ง (Desiccator) ชั่งสารมา 1.050 g. ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 L. เติมกรดซัลฟิวริก 2 ml. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียให้ได้ 1 L. สารละลายนี้เก็บไว้ในตู้เย็นได้นาน 3 สัปดาห์

7) สารละลายกรดนิโคตินิก (Nicotinic acid) ชั่งสาร 4.393 g. เติมน้ำกลั่น 50 mL. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 mL. คนจนสารละลายหมด ถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 mL. แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

8) สารละลายกรดซัลฟิวริก 1 N. นำกรดซัลฟิวริกเข้มข้นมา 28 mL. เจือจางให้ได้ 1,000 mL. ด้วยน้ำกลั่น

9) สารละลายกรดซัลฟิวริก 0.02 N. เตรียมจากสารละลายกรดซัลฟิวริก 1 N. มา 2 mL. เจือจางให้ได้ 100 mL. ด้วยน้ำกลั่น

การทดลอง

1) เติมน้ำตัวอย่างใส่ลงในขวดเจลดาห์ล (Kjeldahl flask) ขนาด 800 mL.

2) เติมสารละลายย่อยสลาย (Digestion Reagent) 50 mL. ค่อยๆเขย่าขวดเจลดาห์ลเพื่อให้ผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียว จากนั้นนำไปวางบนเตาย่อยสลาย

3) การย่อยสลาย (Digestion) นำไปต้มบนเตาของชุดเครื่องย่อยจนกระทั่งได้ควันสีขาวและสารละลายเปลี่ยนเป็นสีฟ้าเขียวใส ให้ทำการย่อยสลายต่ออีก 30 นาที แล้วทิ้งให้เย็น

4) ใส่พลูมิก (Pumic Stone) 1 ช้อน เพื่อลดการกระเด็นของสารเวลาเดือด ลงในขวดเจลดาห์ล (Kjeldahl flask) ขนาด 800 mL.

5) เติมน้ำกลั่น 100 mL. เพื่อให้ปริมาตรน้ำในขวดเจลดาห์ลมีประมาณ 300 mL. และเติมฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 0.5 mL. เขย่าให้เข้ากัน

6) เอียงขวดแล้วค่อยๆเติมสารละลาย NaOH-$Na_2S_2O_3$ จำนวน 50 mL. จากนั้นนำไปต่อกับชุดเครื่องกลั่น

7) การกลั่น (Distillation) นำขวดเจลดาห์ล ที่มีตัวอย่างน้ำไปประกอบกับชุดเครื่องกลั่น แกว่งขวดให้สารละลายผสมจนเข้ากัน โดยปลายของแท่งแก้วด้านที่ไอแก๊สออกมา ให้นำขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL. ไปรองรับไอน้ำที่กลั่นออกมา โดยเก็บน้ำส่วนที่กลั่นให้ได้อย่างน้อย 100-200 mL.

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

8) นำส่วนที่กลั่นได้ไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.02 N. เมื่อถึงจุดยุติสีจะเปลี่ยนจากเขียวเป็นม่วงอ่อน

9) ทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำ และวิเคราะห์เหมือนกับตัวอย่างน้ำทุกขั้นตอน

การคำนวณหาค่าทีเคเอ็น

$$TKN\left(\frac{mgN}{L}\right)=\frac{(A-B)*280}{V}$$

เมื่อ A = ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้กับน้ำตัวอย่าง (mL)

B = ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้กับแบลงค์ (mL)

V = ปริมาณน้ำตัวอย่าง (mL)

ก.4 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)

การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด สามารถทำได้โดยวิธีเทียบสีกับกรดแอสคอบิกแอซิด (Ascobic acid) หาปริมาณด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ UV-Visible Spectrophotometer

2) ขวดวัดปริมาตร (Volummetric flask) ขนาด 50, 100 mL.

3) ปิเปต (Volumetric Pipette) ขนาด 2, 5, 10, 25 mL.

การเตรียมสารเคมี

1) กรดซัลฟิวริก 5 N. เติมหรดซัลฟิวริกเข้มข้น 70 mL. ในน้ำกลั่น 500 mL.

2) สารละลายแอนติโมนีโพแทสเซียมทาเทรต ละลาย $K(SbO)C_4H_4O_6.1/2H_2O$ จำนวน 1.3715 g. ในน้ำกลั่น 200 mL. เติมน้ำจนครบ 500 mL. เก็บในขวดแก้ว

3) สารละลายแอมโนเนียมโมลิบเดต ละลาย $(NH_4)_6MO_7O_{24}.4H_2O$ จำนวน 20 g. ในน้ำกลั่น 500 mL. เก็บในขวดแก้ว

4) สารละลายแอสคอบิก 0.1 โมลาร์ ละลายกรดแอสคอบิก 1.76 g. ในน้ำกลั่น 100 mL. สารละลายนี้คงตัวอยู่ได้ประมาณ 1 สัปดาห์ และต้องเก็บในตู้เย็น

5) น้ำยารวม (Combined reagent) ผสมน้ำยาเคมีในสัดส่วนสำหรับ 100 mL. ของน้ำยารวมดัง สารนี้จะคงตัวอยู่ได้ 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรดซัลฟิวริก 5 N. 50 mL.
- สารละลายแอนติโมนีโพแทสเซียมทาเรต 5 mL.
- สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต 15 mL.
- กรดแอสคอบิก 30 mL.

6) สารละลายสต็อกฟอสเฟต ละลาย KH_2PO_4 (anhydrous) 219.5 mg. เติมน้ำกลั่นจนครบ 1 L.

7) สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต นำสารจากข้อ 6 มา 50 mL. เติมน้ำกลั่นจนครบ 1 L. สารละลายนี้มีความเข้มข้นฟอสเฟต 2.5 ugP/1 mL.

การทดลอง

1) ปิเปตตัวอย่างน้ำมา 30 mL. ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร 50 mL. เติมฟีนอล์ฟทาลีน 1 หยด ถ้าได้สีแดงให้เติมกรดซัลฟิวริกจนกว่าสีแดงจะหายไป

2) เติมน้ำยารวม 8 mL. และปรับปริมาตรให้ได้ 50 mL. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

3) เตรียมกราฟมาตรฐานโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตมา 0, 2, 6, 10, 16, 24 mL. ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 mL. เติมน้ำยารวม 8 mL. เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดและเขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายฟอสเฟตที่มีความเข้มข้น 0, 5, 15, 25, 40, 60 ug. นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงเช่นเดียวกับแบลงค์และน้ำตัวอย่าง

4) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 880 นาโนเมตร

การคำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัส

$$\text{ฟอสเฟต}\left(\frac{mgP}{L}\right)=\frac{\text{ค่าที่อ่านได้จากกราฟ}\ (ug)}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง}\ (mL)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ข.1 คุณภาพน้ำทิ้งก่อนบำบัด

ตารางที่ ข.1 คุณภาพน้ำทิ้งก่อนบำบัด

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้			ค่าเฉลี่ย	S.D.	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	8.15	8.17	8.16	8.16	0.01	0.12
ความขุ่น (NTU)	6.56	6.57	6.55	6.56	0.01	0.15
การนำไฟฟ้า (uS/cm)	2,068	2,072	2,070	2,070	2.00	0.10
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (mg/L)	1,604	1,608	1,600	1,604	4.00	0.25
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/L)	52	52	48	50.67	2.31	4.56
ทีเคเอ็น (mg/L)	3.22	3.22	3.36	3.27	0.08	0.80
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/L)	0.9402	0.0406	0.9407	0.9405	0.00	0.03

ข.2 ผลการตรวจวัดความเป็นกรดและด่าง (pH)

ตารางที่ ข.2 ค่าความเป็นกรดและด่าง

วันที่	บ่อทดลอง	เปอร์เซ็นต์การบำบัด	บ่อควบคุม	เปอร์เซ็นต์การบำบัด
29/08/65	8.16	0.00	8.16	0.00
31/08/65	7.87	3.55	8.01	1.84
01/09/65	7.31	7.12	7.98	0.37
02/09/65	7.27	0.55	7.91	0.88
05/09/65	7.15	1.65	7.85	0.76
05/09/65 (หลังเติมน้ำเพิ่ม)	7.20	-0.70	7.87	-0.25
08/09/65	7.12	1.11	7.76	1.40
09/09/65	7.02	1.40	7.73	0.39
12/09/65	6.87	2.14	7.66	0.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12/09/65 (หลังเติมน้ำเพิ่ม)	7.00	-1.89	7.70	-0.52
15/09/65	7.08	-1.14	7.68	0.26
16/09/65	7.13	-0.71	7.59	1.17
19/09/65	7.16	-0.42	7.64	-0.66

ข.3 ผลการตรวจวัดความขุ่น (Turbidity)

ตารางที่ ข.3.1 ความขุ่นในบ่อทดลอง

วันที่	ความขุ่น (NTU)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	%RSD	เปอร์เซ็นต์การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
29/088/65	6.56	6.57	6.55	6.56	0.01	0.15	0.00
31/08/65	5.06	5.09	5.06	5.07	0.02	0.34	22.71
01/09/65	4.53	4.55	4.54	4.54	0.01	0.22	10.45
02/09/65	3.25	3.19	3.22	3.22	0.03	0.93	29.07
05/09/65	2.07	2.08	2.09	2.08	0.01	0.48	35.40
05/09/65 (หลังเติมน้ำเพิ่ม)	3.26	3.25	3.24	3.25	0.01	0.31	-56.25
08/09/65	1.68	1.68	1.68	1.68	0.00	0.00	48.31
09/09/65	1.29	1.24	1.26	1.26	0.03	1.99	24.80
12/09/65	1.05	1.07	1.09	1.07	0.02	1.87	15.30
12/09/65 (หลังเติมน้ำเพิ่ม)	2.15	2.14	2.14	2.14	0.01	0.27	-100.31
15/09/65	1.84	1.81	1.87	1.84	0.03	1.63	14.15
16/09/65	2.09	2.11	2.13	2.11	0.02	0.95	-14.67
19/09/65	2.66	2.66	2.65	2.66	0.01	0.22	-25.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3.2 ความขุ่นในบ่อควบคุม

วันที่	ความขุ่น (NTU)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	%RSD	เปอร์เซ็นต์การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
29/088/65	6.56	6.57	6.55	6.56	0.01	0.15	0.00
31/08/65	6.45	6.47	6.46	6.46	0.01	0.15	1.52
01/09/65	6.04	6.02	6.03	6.03	0.01	0.17	6.66
02/09/65	5.73	5.70	5.69	5.71	0.02	0.36	5.36
05/09/65	5.23	5.27	5.25	5.25	0.02	0.38	8.00
05/09/65 (หลังเติมน้ำเพิ่ม)	5.74	5.75	5.75	5.75	0.01	0.10	-9.46
08/09/65	4.77	4.78	4.78	4.78	0.01	0.12	16.88
09/09/65	4.35	4.39	4.36	4.37	0.02	0.48	8.58
12/09/65	3.96	3.96	3.95	3.96	0.01	0.15	9.39
12/09/65 (หลังเติมน้ำเพิ่ม)	3.35	3.4	3.36	3.37	0.03	0.79	14.83
15/09/65	3.60	3.62	3.63	3.62	0.02	0.42	-7.32
16/09/65	3.46	3.49	3.48	3.48	0.02	0.44	3.87
19/09/65	3.11	3.11	3.11	3.11	0.00	0.00	10.55

ข.4 ผลการตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

ตารางที่ ข.4.1 ค่าการนำไฟฟ้าในบ่อทดลอง

วันที่	ค่าการนำไฟฟ้า (uS/cm)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	%RSD	เปอร์เซ็นต์การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
29/088/65	2,068	2,072	2,070	2,070	2.00	0.10	0.00
31/08/65	1,914	1,915	1,913	1,914	1.00	0.05	7.54
01/09/65	1,859	1,852	1,856	1,856	3.51	0.19	3.05
02/09/65	1,814	1,809	1,811	1,811	2.52	0.14	2.39
05/09/65	1,768	1,767	1,768	1,768	0.58	0.03	2.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

05/09/65 (หลังเติมน้ำเพิ่ม)	1,775	1,779	1,776	1,777	2.08	0.12	-0.51
08/09/65	1,632	1,634	1,631	1,632	1.53	0.09	8.12
09/09/65	1,539	1,542	1,540	1,540	1.53	0.10	5.64
12/09/65	1,464	1,461	1,462	1,462	1.53	0.10	5.06
12/09/65 (หลังเติมน้ำเพิ่ม)	1,490	1,486	1,489	1,488	2.08	0.14	-1.78
15/09/65	1,417	1,417	1,416	1,417	0.58	0.04	4.82
16/09/65	1,334	1,336	1,335	1,335	1.00	0.07	5.76
19/09/65	1,308	1,309	1,309	1,309	0.58	0.04	1.97

ตารางที่ ข.4.2 ค่าการนำไฟฟ้าในบ่อควบคุม

วันที่	**ค่าการนำไฟฟ้า (uS/cm)**			**ค่าเฉลี่ย**	**S.D.**	**%RSD**	**เปอร์เซ็นต์การบำบัด**
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**				
29/08/65	2,068	2,072	2,070	2,070	2.00	0.10	0.00
31/08/65	2,032	2,034	2,035	2,034	1.53	0.08	1.76
01/09/65	2,007	2,005	2,009	2,007	2.00	0.10	1.31
02/09/65	1,970	1,974	1,972	1,972	2.00	0.10	1.74
05/09/65	1,939	1,938	1,938	1,938	0.58	0.03	1.71
05/09/65 (หลังเติมน้ำเพิ่ม)	1,950	1,955	1,957	1,954	3.61	0.18	-0.81
08/09/65	1,894	1,896	1,899	1,896	2.52	0.13	2.95
09/09/65	1,845	1,845	1,841	1,844	2.31	0.13	2.78
12/09/65	1,802	1,801	1,803	1,802	1.00	0.06	2.26
12/09/65 (หลังเติมน้ำเพิ่ม)	1,828	1,828	1,824	1,827	2.31	0.13	-1.37
15/09/65	1,781	1,779	1,783	1,781	2.00	0.11	2.50
16/09/65	1,725	1,719	1,723	1,722	3.06	0.18	3.29
19/09/65	1,690	1,688	1,694	1,691	3.06	0.18	1.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.5 ผลการทดลองของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid ,TDS)

ตารางที่ ข.5.1ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในบ่อทดลองที่ระยะเวลากักพัก 7 14 และ 21 วัน

ตัวชี้วัด	บ่อทดลอง			เฉลี่ย (mg/L)	S.D.	%RSD	เปอร์เซ็นต์การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
ก่อนบำบัด	1,604	1,608	1,600	1,604	4.00	0.25	0.00
7 วัน	800	804	808	804	4.00	0.50	49.88
หลังเติมน้ำเพิ่ม	964	964	968	965	2.31	0.24	-20.07
14 วัน	616	612	620	616	4.00	0.65	36.19
หลังเติมน้ำเพิ่ม	760	764	756	760	4.00	0.53	-23.38
21 วัน	700	704	700	701	2.31	0.33	7.72

ตารางที่ ข.5.2 ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของบ่อทดลอง

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	น้ำหนักถ้วยระเหย		
		ก่อน (g)	หลัง (g)	หลัง-ก่อน (g)
0	1	113.5378	113.5719	0.0341
	2	77.4435	77.4837	0.0402
	3	65.0783	65.1183	0.0400
7	1	65.2385	65.2585	0.02
	2	65.6384	65.6585	0.0201
	3	74.9495	74.9874	0.0379
หลังเติมน้ำเพิ่ม	1	78.5861	78.6343	0.0482
	2	74.8291	74.8532	0.0241
	3	78.4327	78.4811	0.0484
14	1	71.0933	71.1087	0.0154
	2	82.9380	82.9533	0.0153
	3	76.4421	76.4756	0.0335
หลังเติมน้ำเพิ่ม	1	87.1213	87.1403	0.0190
	2	77.3716	77.3906	0.0190
	3	81.9247	81.9436	0.0189

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21	1	68.9510	68.9685	0.0175
	2	68.3661	68.3837	0.0176
	3	78.5271	78.5446	0.0175

ตารางที่ ข.5.3 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพัก 7 14 และ 21 วัน

ตัวชี้วัด	บ่อควบคุม			เฉลี่ย	S.D.	%RSD	เปอร์เซ็นต์
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	(mg/L)			การบำบัด
ก่อนบำบัด	1,604	1,608	1,600	1,604	4.00	0.25	0.00
7 วัน	1472	1476	1476	1,475	2.31	0.16	8.06
หลังเติมน้ำเพิ่ม	1576	1584	1580	1,580	4.00	0.25	-7.14
14 วัน	1336	1332	1336	1,335	2.31	0.17	15.53
หลังเติมน้ำเพิ่ม	1420	1424	1424	1,423	2.31	0.16	-6.59
21 วัน	1304	1304	1308	1,305	2.31	0.18	8.25

ตารางที่ ข.5.4 ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของบ่อควบคุม

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	น้ำหนักถ้วยระเหย		
		ก่อน	หลัง	หลัง-ก่อน
0	1	113.5378	113.5719	0.0341
	2	77.4435	77.4837	0.0402
	3	65.0783	65.1183	0.0400
7	1	74.5246	75.5614	1.0368
	2	77.6555	77.6924	0.0369
	3	83.5138	83.5507	0.0369
หลังเติมน้ำเพิ่ม	1	92.4739	92.5133	0.0394
	2	89.6151	89.6547	0.0396
	3	96.7053	96.7448	0.0395
14	1	86.9704	87.0038	0.0334
	2	76.2927	76.3260	0.0333
	3	90.9868	91.0202	0.0334
หลังเติมน้ำเพิ่ม	1	86.5217	86.5572	0.0355
	2	79.5310	79.5666	0.0356
	3	71.8297	71.8653	0.0356

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21	1	85.6369	85.6695	0.0326
	2	91.9457	91.9783	0.0326
	3	93.6498	93.6825	0.0327

ข.6 ผลการทดลองของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid, TSS)

ตารางที่ ข.6.1 ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในบ่อทดลองที่ระยะเวลากักพัก 7 14 และ 21 วัน

ตัวชี้วัด	บ่อทดลอง			เฉลี่ย (mg/L)	S.D.	%RSD	เปอร์เซ็นต์การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
ก่อนบำบัด	52	52	48	50.67	2.31	4.56	0.00
7 วัน	8	8	12	9.33	2.31	24.74	81.58
หลังเติมน้ำเพิ่ม	24	24	24	24.00	0.00	0.00	-157.14
14 วัน	12	16	8	12.00	4.00	33.33	50.00
หลังเติมน้ำเพิ่ม	28	32	32	30.67	2.31	7.53	-155.56
21 วัน	28	28	28	28.00	3.61	12.88	8.70

ตารางที่ ข.6.2 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของบ่อทดลอง

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง		
		ก่อน	หลัง	หลัง-ก่อน
0	1	0.1985	0.1998	0.0013
	2	0.1999	0.2012	0.0013
	3	0.1993	0.2005	0.0012
7	1	0.1999	0.2001	0.0002
	2	0.2009	0.2011	0.0002
	3	0.2013	0.2016	0.0003
หลังเติมน้ำเพิ่ม	1	0.2000	0.2006	0.0006
	2	0.1990	0.1996	0.0006
	3	0.1994	0.2000	0.0006
14	1	0.2007	0.2010	0.0003
	2	0.2010	0.2014	0.0004
	3	0.2007	0.2009	0.0002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังเติมน้ำเพิ่ม	1	0.2015	0.2022	0.0007
	2	0.1988	0.1996	0.0008
	3	0.1992	0.2000	0.0008
21	1	0.2014	0.2021	0.0007
	2	0.2012	0.2019	0.0007
	3	0.2001	0.2008	0.0007

ตารางที่ ข.6.3 ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพัก 7 14 และ 21 วัน

ตัวชี้วัด	**บ่อควบคุม**			**เฉลี่ย**	S.D.	%RSD	**เปอร์เซ็นต์**
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**(mg/L)**			**การบำบัด**
ก่อนบำบัด	52	52	48	50.67	2.31	4.56	0.00
7 วัน	52	48	44	48.00	4.00	8.33	5.26
หลังเติมน้ำเพิ่ม	52	48	52	50.67	2.31	4.56	-5.56
14 วัน	48	44	44	45.33	2.31	5.09	10.53
หลังเติมน้ำเพิ่ม	48	48	48	48.00	0.00	0.00	-5.88
21 วัน	44	40	44	42.67	2.31	5.41	12.33

ตารางที่ ข.6.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของบ่อควบคุม

ระยะเวลา (วัน)	**ครั้งที่**	**น้ำหนักระดาษกรอง**		
		ก่อน	**หลัง**	**หลัง-ก่อน**
0	1	0.1985	0.1998	0.0013
	2	0.1999	0.2012	0.0013
	3	0.1993	0.2005	0.0012
7	1	0.2017	0.2030	0.0013
	2	0.1976	0.1988	0.0012
	3	0.2008	0.2019	0.0011
หลังเติมน้ำเพิ่ม	1	0.1988	0.2001	0.0013
	2	0.1984	0.1996	0.0012
	3	0.2005	0.2018	0.0013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14	1	0.1998	0.2010	0.0012
	2	0.1973	0.1984	0.0011
	3	0.1981	0.1992	0.0011
หลังเติมน้ำเพิ่ม	1	0.2004	0.2016	0.0012
	2	0.2001	0.2013	0.0012
	3	0.1998	0.2010	0.0012
21	1	0.1994	0.2005	0.0011
	2	0.1979	0.1989	0.0010
	3	0.1992	0.2003	0.0011

ข.7 ผลการทดลองทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)

ตารางที่ ข.7.1 ค่าทีเคเอ็นในบ่อทดลองที่เวลากักพัก 7 14 และ 21 วัน

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	ปริมาณ H_2SO_4 (mL)	TKN (mg/L)	ค่าเฉลี่ย	S.D.	%RSD
0	1	1.60	3.36	3.27	0.08	2.47
	2	1.55	3.22			
	3	1.55	3.22			
7	1	0.40	1.12	1.17	0.08	6.93
	2	0.45	1.26			
	3	0.40	1.12			
หลังเติมน้ำเพิ่ม	1	0.60	1.68	1.68	0.00	0.00
	2	0.60	1.68			
	3	0.60	1.68			
14	1	0.20	0.56	0.51	0.08	15.75
	2	0.15	0.42			
	3	0.20	0.56			
หลังเติมน้ำเพิ่ม	1	0.40	1.12	1.12	0.14	12.50
	2	0.35	0.98			
	3	0.45	1.26			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00			
	3	0.00	0.00			

ตารางที่ ข.7.2 ค่าทีเคเอ็นในบ่อควบคุมที่เวลากักพัก 7 14 และ 21 วัน

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	ปริมาณ H_2SO_4 (mL)	TKN (mg/L)	ค่าเฉลี่ย	S.D.	%RSD
0	1	1.60	3.36	3.27	0.08	2.47
	2	1.55	3.22			
	3	1.55	3.22			
7	1	1.00	2.80	2.89	0.43	14.78
	2	1.20	3.36			
	3	0.90	2.52			
หลังเติมน้ำเพิ่ม	1	1.25	3.50	3.13	0.35	11.27
	2	1.10	3.08			
	3	1.00	2.80			
14	1	0.80	2.24	2.19	0.08	3.69
	2	0.80	2.24			
	3	0.75	2.10			
หลังเติมน้ำเพิ่ม	1	1.00	2.80	2.80	0.00	0.00
	2	1.00	2.80			
	3	1.00	2.80			
21	1	0.70	1.96	1.88	0.18	9.44
	2	0.60	1.68			
	3	0.75	2.01			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.8 ผลการทดลองฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)

ตารางที่ ข.8.1 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในบ่อทดลองที่ระยะเวลากักพัก 7 14 และ 21 วัน

ตัวชี้วัด	บ่อควบคุม			เฉลี่ย (mg/L)	S.D.	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ก่อนบำบัด	0.9402	0.9406	0.9407	0.9405	0.00	0.01
7 วัน	0.9280	0.9260	0.9240	0.9260	0.00	0.22
หลังเติมน้ำเพิ่ม	0.9310	0.9370	0.9340	0.9340	0.00	0.32
14 วัน	0.9200	0.9180	0.9180	0.9187	0.00	0.13
หลังเติมน้ำเพิ่ม	0.9160	0.9320	0.9260	0.9247	0.01	0.87
21 วัน	0.9230	0.9150	0.9089	0.9156	0.01	0.77

ตารางที่ ข.8.2 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพัก 7 14 และ 21 วัน

ตัวชี้วัด	บ่อควบคุม			เฉลี่ย (mg/L)	S.D.	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ก่อนบำบัด	0.9402	0.9406	0.9407	0.9405	0.00	0.01
7 วัน	0.9300	0.9400	0.9350	0.9350	0.00	0.53
หลังเติมน้ำเพิ่ม	0.9310	0.9531	0.9426	0.9422	0.01	1.17
14 วัน	0.9350	0.9240	0.9290	0.9293	0.01	0.59
หลังเติมน้ำเพิ่ม	0.9320	0.9450	0.9390	0.9387	0.01	0.69
21 วัน	0.9200	0.9280	0.9240	0.9240	0.00	0.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลการวิจัยทางสถิติของพารามิเตอร์ต่างๆจากโปรแกรม Minitab

ค.ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติระหว่างชุดบ่อทดลองและชุดบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ 21 วัน

ค.1 ความขุ่น (Turbidity)

H_0 : ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักน้ำ ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความขุ่นอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ มีอิทธิพลต่อค่าความขุ่นอย่างมีนัยสำคัญที่

ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05)

เนื่องจาก P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.005 ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 คือ ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ มีอิทธิพลต่อค่าความขุ่นอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ค.1.1 ตาราง ANOVA ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Minitab

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Treatment	1	3.8828	3.8828	9984.23	0.000
Factor	2	28.83	14.41	37074.10	0.000
Treatment*Factor	2	12.31	6.15	15834.61	0.000
Error	12	0.0047	0.0004		
Total	17				

ตารางที่ ค.1.2 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าความขุ่นของชุดบ่อควบคุมและบ่อทดลอง โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Treatment	N	Mean	Grouping
2 (บ่อทดลอง)	9	2.04	A
1 (บ่อควบคุม)	9	1.12	B

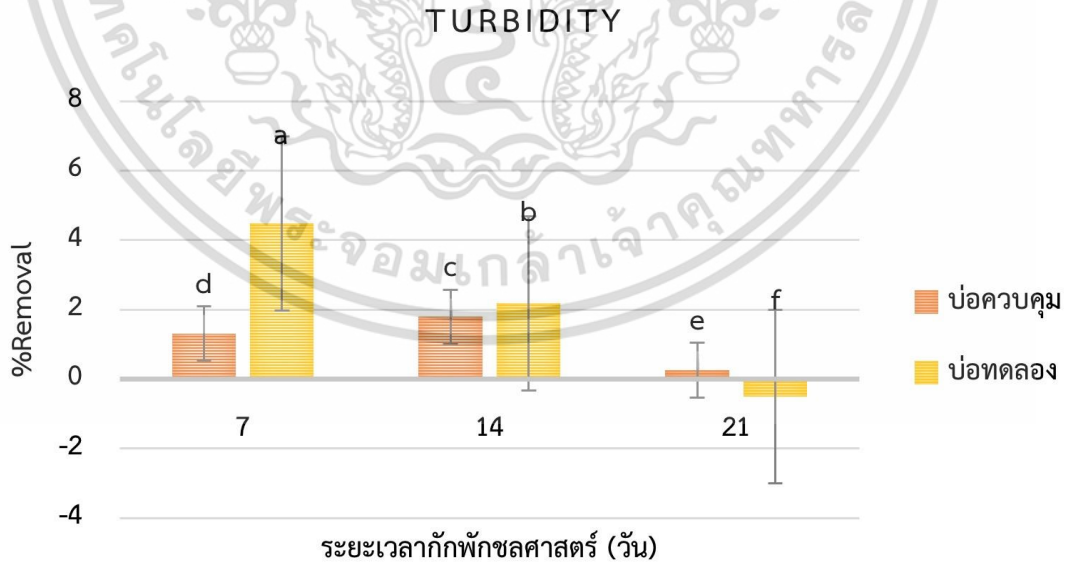
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1.3 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าความขุ่นของระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Factor	N	Mean	Grouping
1 (7วัน)	6	2.89	A
2 (14วัน)	6	1.98	B
3 (21วัน)	6	-0.12	C

ตารางที่ ค.1.4 ข้อมูลการจัดกลุ่มค่าความขุ่นระหว่างชุดบ่อทดลองและบ่อควบคุมกับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Treatment*Factor	N	Mean	Grouping
2,1	3	4.48	A
2,2	3	2.18	B
1,2	3	1.79	C
1,1	3	1.31	D
1,3	3	0.26	E
2,3	3	-0.51	F



รูปที่ ค.1 กราฟผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของความขุ่นระหว่างชุดบ่อทดลองและชุดบ่อควบคุม ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 14 และ 21 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 การนำไฟฟ้า (Conductivity)

H_0 : ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ ไม่มีอิทธิพลต่อค่าการนำไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ มีอิทธิพลต่อค่าการนำไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05)

เนื่องจาก P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.005 ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 คือ ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ มีอิทธิพลต่อค่าการนำไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ค.2.1 ตาราง ANOVA ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Minitab

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Treatment	1	71065	71064.5	5977.39	0.000
Factor	2	18935	9467.7	796.35	0.000
Treatment*Factor	2	15177	7588.5	638.29	0.000
Error	12	143	11.90		
Total	17	105320			

ตารางที่ ค.2.2 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าการนำไฟฟ้าของชุดบ่อควบคุมและบ่อทดลอง โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Treatment	N	Mean	Grouping
2 (บ่อทดลอง)	9	265.55	A
1 (บ่อควบคุม)	9	139.88	B

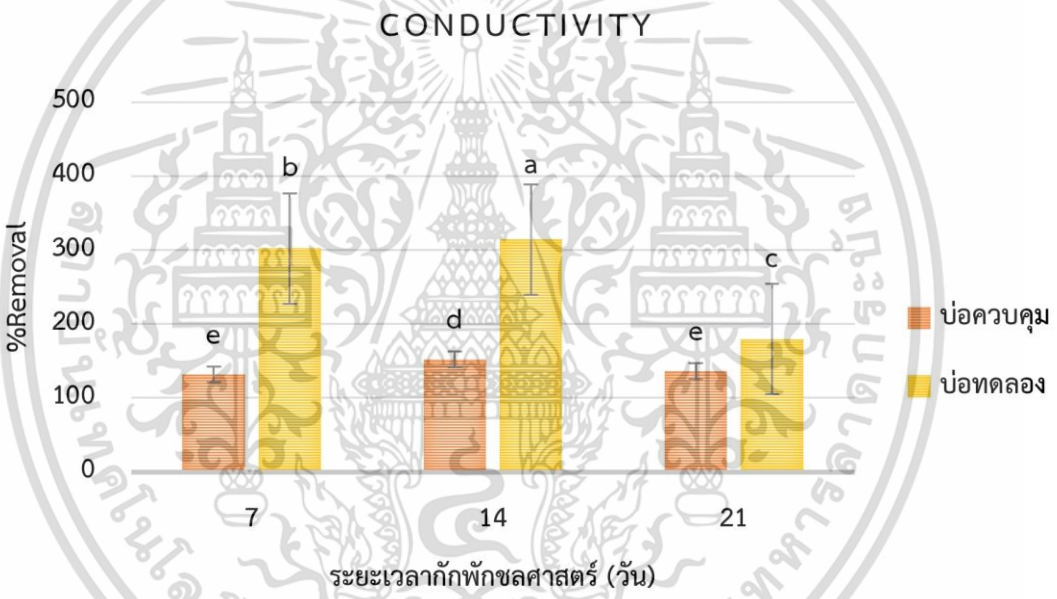
ตารางที่ ค.2.3 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าการนำไฟฟ้าของระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Factor	N	Mean	Grouping
2 (14วัน)	6	233.33	A
1 (7วัน)	6	217.00	B
3 (21วัน)	6	157.83	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2.4 ข้อมูลการจัดกลุ่มค่าการนำไฟฟ้าระหว่างชุดบ่อทดลองและบ่อควบคุมกับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Treatment*Factor	N	Mean	Grouping
2,2	3	314.66	A
2,1	3	302.33	B
2,3	3	179.66	C
1,2	3	152.00	D
1,3	3	136.00	E
1,1	3	131.66	E



รูปที่ ค.2 กราฟผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของค่าการนำไฟฟ้าระหว่างชุดบ่อทดลองและชุดบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 14 และ 21 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid, TDS)

H_0 : ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ ไม่มีอิทธิพลต่อค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ มีอิทธิพลต่อค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05)

เนื่องจาก P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.005 ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 คือ ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ มีอิทธิพลต่อค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ค.3.1 ตาราง ANOVA ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Minitab

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Treatment	1	256328	256328	12537.78	0.000
Factor	2	427397	213699	10452.65	0.000
Treatment*Factor	2	439749	219875	10754.74	0.000
Error	12	245	20		
Total	17	1123720			

ตารางที่ ค.3.2 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดบ่อควบคุมและบ่อทดลอง โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Treatment	N	Mean	Grouping
2 (บ่อทดลอง)	9	402.667	A
1 (บ่อควบคุม)	9	164.00	B

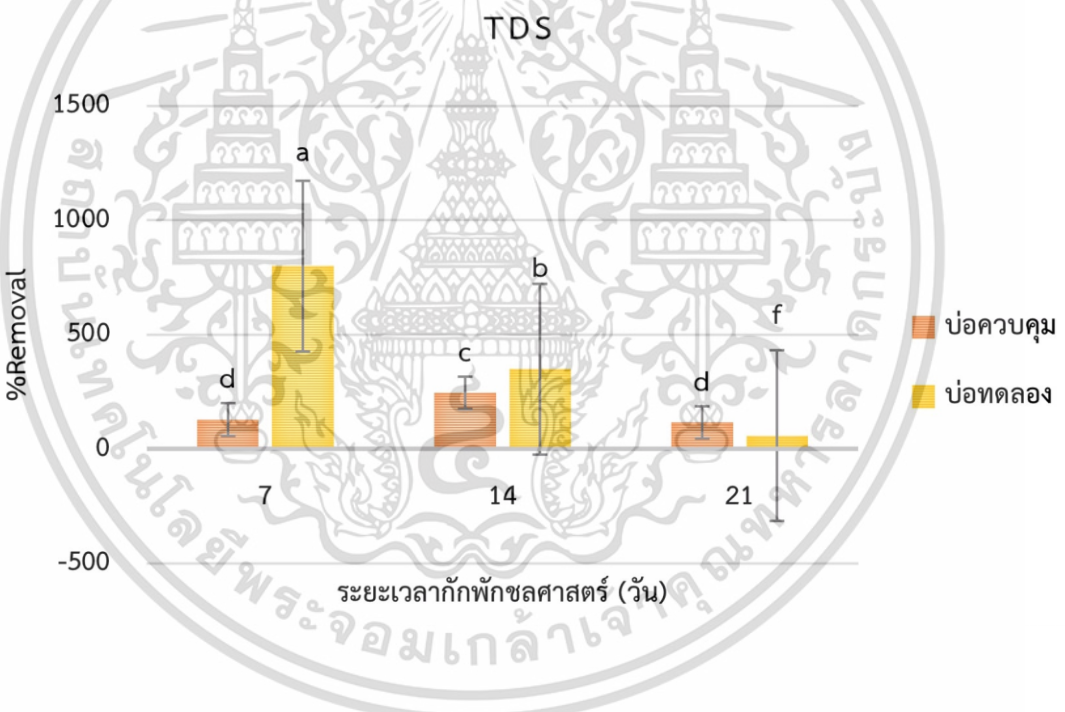
ตารางที่ ค.3.3 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Factor	N	Mean	Grouping
1 (7วัน)	6	464.667	A
2 (14วัน)	6	297.33	B
3 (21วัน)	6	88.00	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.3.4 ข้อมูลการจัดกลุ่มของแข็งละลายน้ำทั้งหมดระหว่างชุดบ่อทดลองและบ่อควบคุมกับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Treatment*Factor	N	Mean	Grouping
2,1	3	800.00	A
2,2	3	349.33	B
1,2	3	245.33	C
1,1	3	129.33	D
1,2	3	117.33	D
2,3	3	58.66	E



รูปที่ ค.3 กราฟผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดระหว่างชุดบ่อทดลองและชุดบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 14 และ 21 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.4 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid, TSS)

H_0 : ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักชลสตร์ ไม่มีอิทธิพลต่อค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ มีอิทธิพลต่อค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05)

เนื่องจาก P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.005 ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 คือ ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ มีอิทธิพลต่อค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ค.4.1 ตาราง ANOVA ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Minitab

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Treatment	1	882	882	81	0.000
Factor	2	1017.3	508.67	46.71	0.000
Treatment*Factor	2	1444	722	66.31	0.000
Error	12	130.7	10.89		
Total	17	3474			

ตารางที่ ค.4.2 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของชุดบ่อควบคุมและบ่อทดลอง โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Treatment	N	Mean	Grouping
2 (บ่อทดลอง)	9	18.66	A
1 (บ่อควบคุม)	9	4.66	B

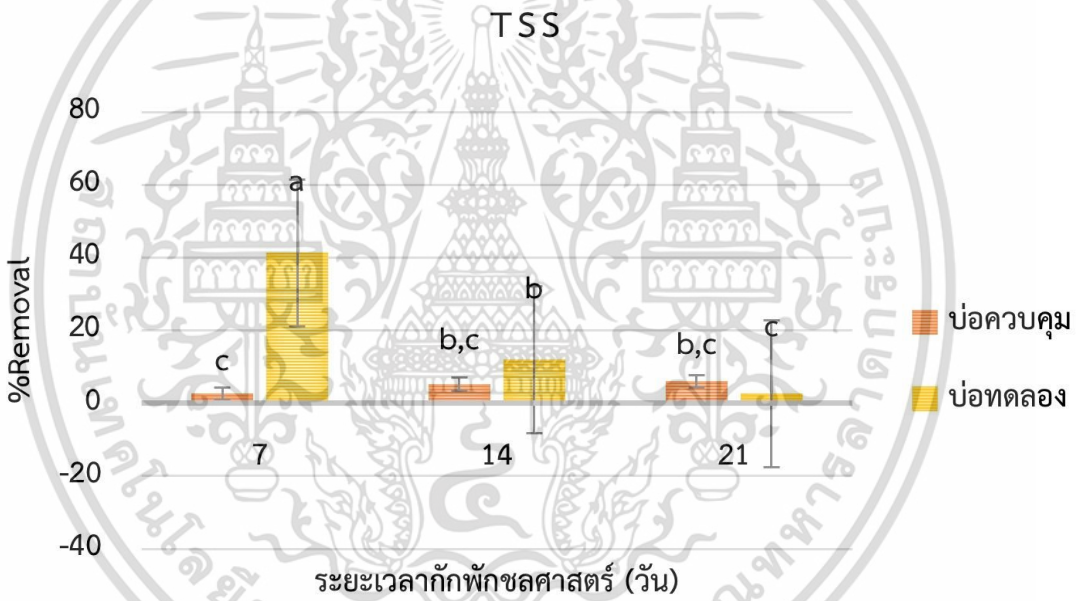
ตารางที่ ค.4.3 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของระยะเวลากักพักชลศาตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Factor	N	Mean	Grouping
1 (7วัน)	6	22.00	A
2 (14วัน)	6	8.66	B
3 (21วัน)	6	4.33	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4.4 ข้อมูลการจัดกลุ่มของแข็งแขวนลอยทั้งหมดระหว่างชุดบ่อทดลองและบ่อควบคุมกับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Treatment*Factor	N	Mean	Grouping	
2,1	3	41.33	A	
2,2	3	12.00	B	
1,3	3	6.00	B	C
1,2	3	5.33	B	C
1,1	3	2.66		C
2,3	3	2.66		C



รูปที่ ค.4 กราฟผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดระหว่างชุดบ่อทดลองและชุดบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 14 และ 21 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.5 ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)

H_0 : ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ ไม่มีอิทธิพลต่อค่าทีเคเอ็นอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ มีอิทธิพลต่อค่าทีเคเอ็นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05)

เนื่องจาก P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.005 ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 คือ ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ มีอิทธิพลต่อค่าทีเคเอ็นอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ค.5.1 ตาราง ANOVA ของทีเคเอ็นที่คำนวณได้จากโปรแกรม Minitab

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Treatment	1	2.3400	2.34001	38.478	0.000
Factor	2	0.1670	0.08352	1.37	0.290
Treatment*Factor	2	2.2757	1.13787	18.74	0.000
Error	12	0.7297	0.06081		
Total	17	5.5124			

ตารางที่ ค.5.2 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าทีเคเอ็นของชุดบ่อควบคุมและบ่อทดลอง โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Treatment	N	Mean	Grouping
2 (บ่อทดลอง)	9	1.46222	A
1 (บ่อควบคุม)	9	0.74111	B

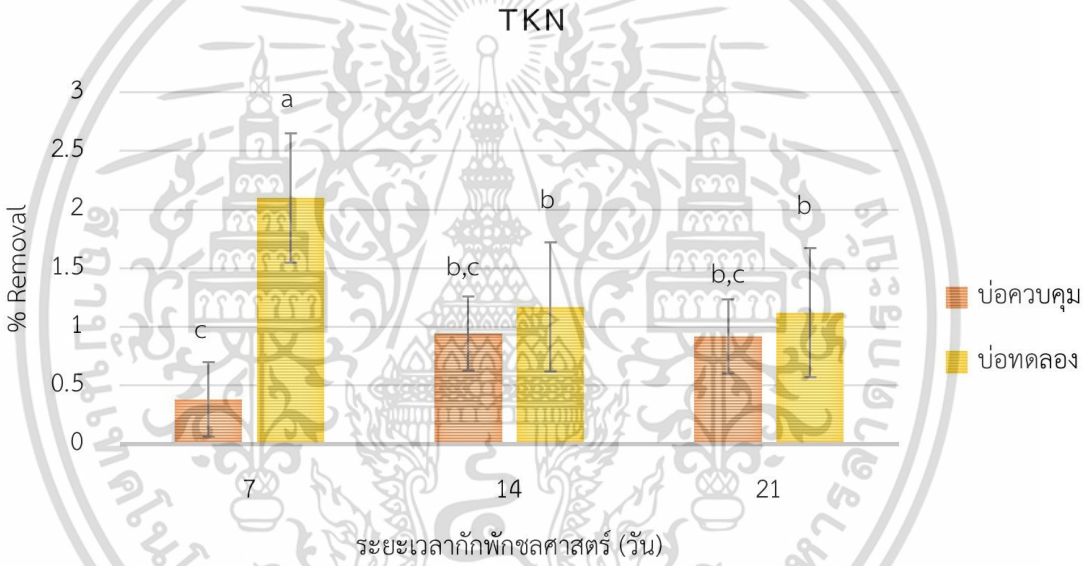
ตารางที่ ค.5.3 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าทีเคเอ็นของระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Factor	N	Mean	Grouping
1 (7วัน)	6	1.23667	A
2 (14วัน)	6	1.05000	A
3 (21วัน)	6	1.01833	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.5.4 ข้อมูลการจัดกลุ่มของทีเคเอ็นระหว่างชุดบ่อทดลองและบ่อควบคุมกับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Treatment*Factor	N	Mean	Grouping	
2,1	3	2.10000	A	
2,2	3	1.16667	B	
2,3	3	1.12000	B	
1,2	3	0.93333	B	C
1,3	3	0.91667	B	C
1,1	3	0.37333		C



รูปที่ ค.5 กราฟผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติปริมาณของทีเคเอ็นระหว่างชุดบ่อทดลองและชุดบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 14 และ 21 วัน

ค.6 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)

H_0 : ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ ไม่มีอิทธิพลต่อค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ มีอิทธิพลต่อค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก P-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.005 ดังนั้นจึงยอมรับ H_0 คือ ชุดบ่อทดลอง (มีหญ้าแฝก)และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ ไม่มีอิทธิพลต่อค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ค.6.1 ตาราง ANOVA ของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่คำนวณได้จากโปรแกรม Minitab

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Treatment	1	0.000017	0.000017	0.19	0.667
Factor	2	0.000051	0.000026	0.30	0.749
Treatment*Factor	2	0.000161	0.000081	0.93	0.420
Error	12	0.001036	0.000086		
Total	17	0.001265			

ตารางที่ ค.6.2 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของชุดบ่อควบคุมและบ่อทดลอง โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Treatment	N	Mean	Grouping
2 (บ่อทดลอง)	9	0.0129	A
1 (บ่อควบคุม)	9	0.0110	A

ตารางที่ ค.6.3 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

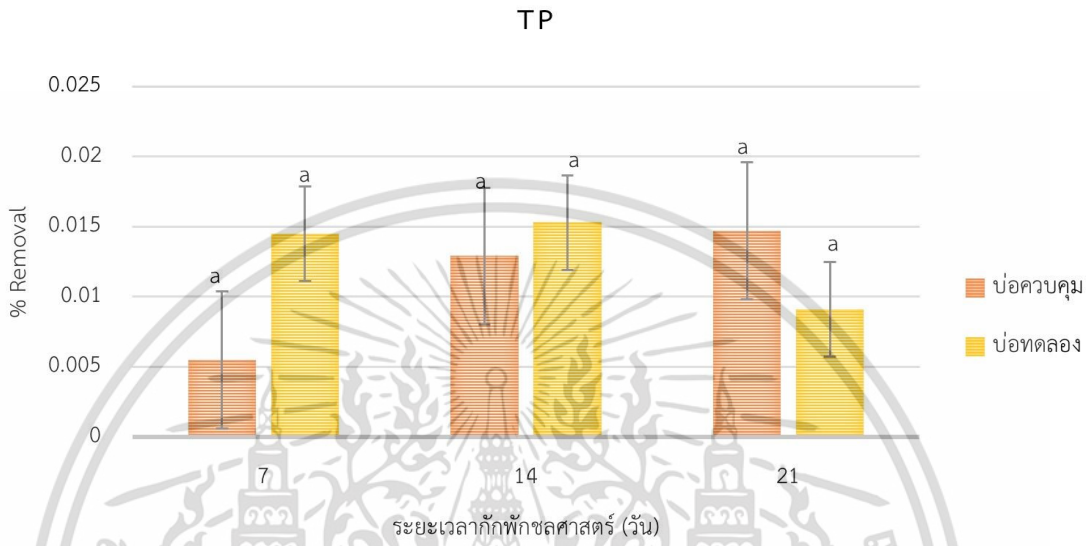
Factor	N	Mean	Grouping
2 (14วัน)	6	0.0141	A
3 (21วัน)	6	0.0118	A
1 (14วัน)	6	0.0100	A

ตาราง ค.6.4 ข้อมูลการจัดกลุ่มฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่างชุดบ่อทดลองและบ่อควบคุมกับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 7 14 และ21วัน โดยใช้วิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Treatment*Factor	N	Mean	Grouping
2,2	3	0.0153	A
1,3	3	0.0146	A
2,1	3	0.0145	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1,2	3	0.0129	A
2,3	3	0.0090	A
1,1	3	0.0055	A

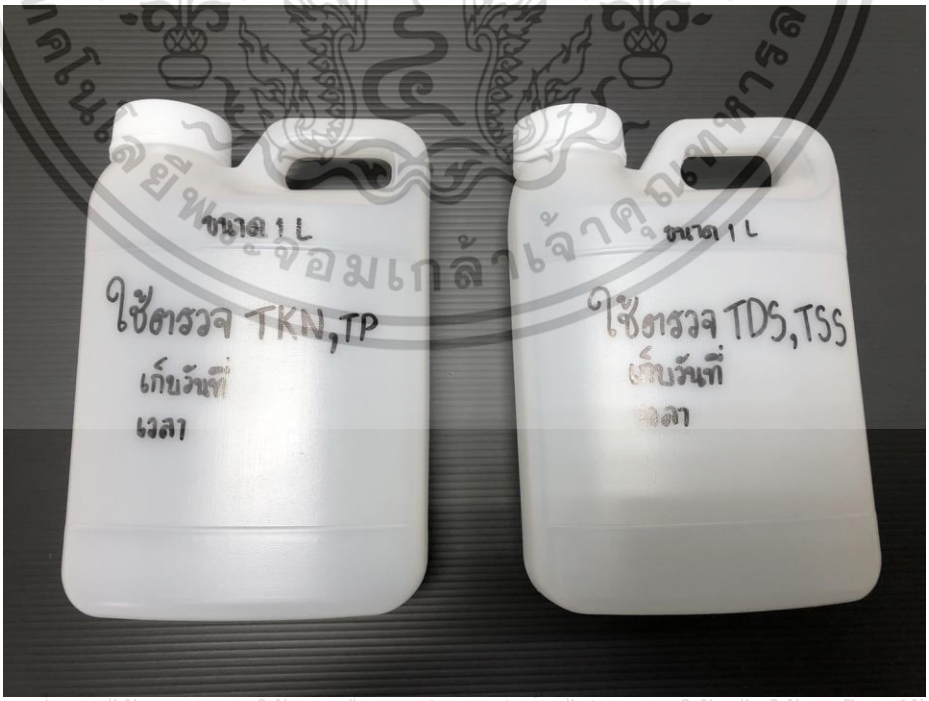


รูปที่ ค.6 กราฟผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่างชุดบ่อทดลองและชุดบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 14 และ 21 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
รูปภาพการบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบบึงประดิษฐ์ แบบทุ่นลอยน้ำ

รูป ง.1 บ่อรีเคลม



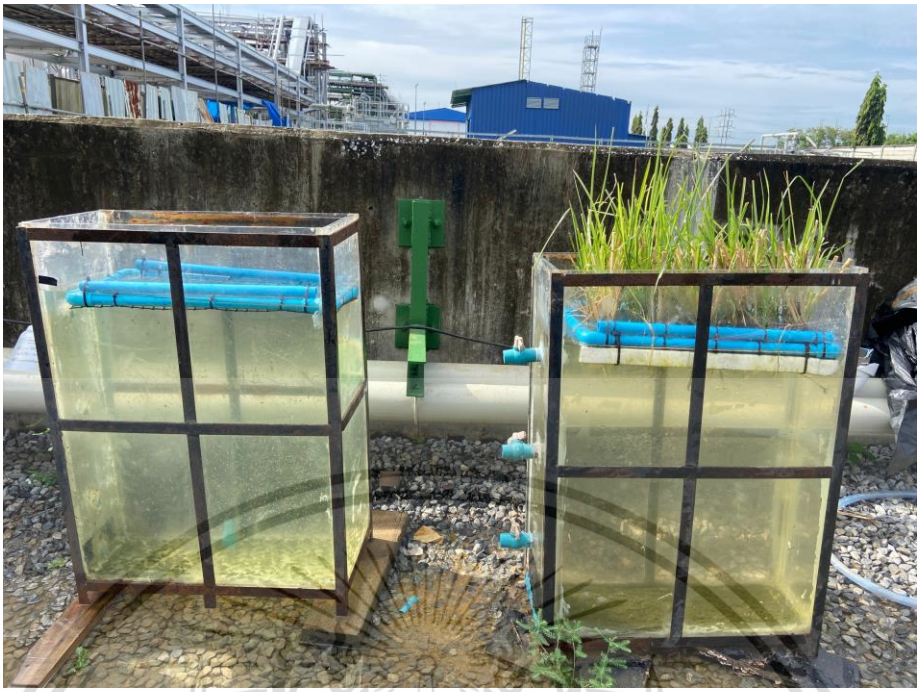
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ง.2 ขวดเก็บตัวอย่างน้ำขนาด 1 ลิตร

รูปที่ ง.3 บ่อทดลองและบ่อควบคุมก่อนบำบัด

รูปที่ ง.4 บ่อทดลองและบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.5 บ่อทดลองและบ่อควบคุมที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 21 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองเล่มโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 25 เดือน **มกราคม** พ.ศ. 2566

ข้าพเจ้า ~~นาย/นาง~~/นางสาว **นุชนาฏ พรสวัสชัย** รหัสประจำตัว 62050403

~~นาย/นาง~~/นางสาว **สิรินยากรณ์ ชินวัฒน์** รหัสประจำตัว 62050460

นาย/นาง/นางสาว ..... รหัสประจำตัว .....

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา **เคมีสิ่งแวดล้อม** ภาควิชา **เคมี**

ขอรับรองว่าโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา เรื่อง

ชื่อภาษาไทย **การศึกษาประสิทธิภาพหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำ ในการบำบัดน้ำทิ้งจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้า**

ชื่อภาษาอังกฤษ EFFICIENCY STUDY OF VETIVER GRASS CULTIVATED WITH FLOATING PLAT FORM TECHNIQUE FOR WASTEWATER TREATMENT FROM COOLING TOWER OF POWER PLANT

ปีการศึกษา 2565

เป็นผลงานวิจัยที่มิได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 2.14 % หรือโปรแกรม Turnitin ..... %

ลงชื่อ นุชนาฏ	ลงชื่อ สิรินยากรณ์	ลงชื่อ .....
(นุชนาฏ พรสวัสชัย)	(สิรินยากรณ์ ชินวัฒน์)	( )
นักศึกษา	นักศึกษา	นักศึกษา

ข้าพเจ้า ศ. / รศ. / ผศ. / ดร. / อ. ดร. สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา ได้ตรวจสอบโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงชื่อ	ลงชื่อ	ลงชื่อ .....
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม