ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียความเป็นกรดสูงโดยใช้พืชท้องถิ่นบริเวณพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชมหาวิทยาลัยพะเยา

นางสาว ภัทร์ธีรา สารประ
นางสาว สุพรรษา โปดำ

โครงงานทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมเสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มีนาคม 2557
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

อาจารย์ที่ปรึกษาและคณบดีวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมได้พิจารณาโครงงานทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เรื่อง “ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียความเป็นกรดสูงโดยใช้พืชท้องถิ่นบริเวณพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชมหาวิทยาลัยพะเยา” เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยพะเยา

.....

(ดร.โสมนัส สมประเสริฐ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. วัฒนพงศ์ รักษ์วิเชียร)

คณบดีวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม

มีนาคม 2557

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับเงินทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยพะเยาภายใต้ โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยพะเยา

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งจาก ดร.โสมนัส สมประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำในการศึกษาตลอดจนชี้แนะแนวทางในการทดลองและการเขียนรายงานจนแล้วเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการของวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำในเรื่องการทดลอง รวมทั้งเพื่อนๆทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน สุดท้ายขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวที่คอยให้คำปรึกษาและให้การสนับสนุนตลอดมา

ผู้ทำการศึกษาขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือมา ณ โอกาสนี้

ภัทร์ธีรา สารประ

สุพรรษา โปดำ

ชื่อเรื่อง ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียความเป็นกรดสูงโดยใช้พืชท้องถิ่นบริเวณพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชมหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ศึกษาค้นคว้า ภัทร์ธีรา สารประ
สุพรรษา โปดำ
ที่ปรึกษา ดร.โสมนัส สมประเสริฐ
ประเภทสารนิพนธ โครงงานทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, วศ.บ. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยพะเยา, 2557
คำสำคัญ บึงประดิษฐ์ ไหลใต้ผิวในแนวราบ พุทธรักษา ผักคราดหัวแหวน ความเป็นกรดสูง

บทคัดย่อ

การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์อาศัยพืชในการบำบัดเป็นหลัก พืชที่เลือกใช้โดยมากเป็นพืชที่มีโอกาสแพร่กระจายข้ามถิ่นได้ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียความเป็นกรดสูง โดยเลือกใช้พืชสองชนิด คือ พุทธรักษา *Canna spp.* และพืชท้องถิ่นในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ต๋ำคือ ผักคราดหัวแหวน *Acmellaoleracea (L.)* ระบบที่ใช้ในการศึกษาเป็นบึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวในแนวราบเพื่อทดสอบความสามารถในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ควบคุมพีเอชเท่ากับ 4 และ 5 โดยมีการภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (HLR) 5 ซม/วันผลการวิจัยพบว่าผักคราดหัวแหวนมีอัตราการบำบัดได้ดีกว่าพุทธรักษาเนื่องจากพืชสามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดีในน้ำเสียที่มีค่าพีเอช 5 ทำให้ช่วยเพิ่มออกซิเจนในระบบได้ดี ส่วนการทดลองป้อนน้ำเสีย พีเอช 4 พบว่า พืชทั้งสองชนิดไม่สามารถทนต่อสภาพความเป็นกรดได้อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งละลายน้ำ, ฟอสฟอรัส , เจดาลห์ไนโตรเจนและซีโอดีมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่พืชรับน้ำเสีย

Title PLANT BIODIVERSITY IN MEA TAM WATER SHADE AREA FOR THE USE ON STRONG ACIDITY WASTEWATER TREATMENT

Author Patteera Sarnpra

Supansa Podam

Advisor Dr. Sommanat Somprasert

Academic Paper Environmental Engineering Project, B.Eng in Environmental Engineering, University of Phayao, 2557

Keywords Constructed Wetland, Horizontal subsurface flow, *Canna spp.*, *Acmellaoleracea (L.)*, Strong acidity

ABSTRACT

Plants are an important component for wastewater treatment in a constructed wetland system. However, several type of plants used in this system could be spread as an alien species. This research studied the treatment efficiency of high acidity wastewater using two types of plant *Canna spp.* and *Acmellaoleracea (L.)* which was the native plants in Mea Tam water shade. The plants were set in a horizontal subsurface flow constructed wetland system. The pH 4 and 5 synthetic wastewaters were fed at 9 liters per day. The results revealed that *Acmellaoleracea (L.)* could adapt and grown in pH 5 acidity wastewater which enhanced more oxygen in the system cause the higher treatment efficiencies than *Canna spp.* It was found that both plant species could not tolerant in the experimental with pH 4 wastewater and downward trend of TDS, phosphorus, TKN and COD removal efficiencies over the period of plants receiving wastewater.

สารบัญ

บทที่ **หน้า**

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญ 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 2

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

แหล่งกำเนิดน้ำเสีย 3

ลักษณะของน้ำเสีย 4

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland systems) 7

องค์ประกอบของระบบบึงประดิษฐ์ 10

ชนิดและลักษณะของพืชในบึงประดิษฐ์ 13

ปัจจัยในการพิจารณาเลือกพืชในบึงประดิษฐ์ 14

กลไกการบำบัดในระบบบึงประดิษฐ์ 14

ประโยชน์จากระบบบึงประดิษฐ์ 16

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16

3 วิธีดำเนินการวิจัย 20

อุปกรณ์การทดลอง 20

พืชที่ใช้ในการทดลอง 21

น้ำเสียที่ใช้ในการทำการศึกษา 23

ขั้นตอนและวิธีทำการศึกษา 23

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	**ผลการวิเคราะห์ข้อมูล/ผลการทดลอง**	25
	การเจริญเติบโตของพืช	25
	การบำบัดน้ำเสียของแบบจำลองที่ควบคุมพีเอช 4	30
	การบำบัดน้ำเสียของแบบจำลองที่ควบคุมพีเอช 5	34
5	**บทสรุป**	40
	สรุปผลการวิจัย	40
บรรณานุกรม		41
ภาคผนวก		44
ประวัติผู้วิจัย		50

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1 องค์ประกอบสำหรับการเลือกชนิดของพืชที่ใช้ในระบบ 15
3.1 ลักษณะน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ 23
3.2 การวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง 24
4.1 การเจริญเติบโตของต้นพุทธรักษา 26
4.2 การเจริญเติบโตก่อนป้อนน้ำเสียและหลังป้อนน้ำเสียของต้นพุทธรักษา 26
4.3 การเจริญเติบโตของต้นผักคราดหัวแหวน 27
4.4 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตก่อนป้อนน้ำเสียและหลังป้อนน้ำเสียของต้นผักคราดหัวแหวน 28
ก ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์บ่อควบคุม 45
ข ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่างผักคราดหัวแหวน 45
ค ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่างพุทธรักษา 46
ง ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ pH 5 46
จ ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่างผักคราดหัวแหวน pH 5 47
ฉ ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่างพุทธรักษา pH 5 47
ช ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่าง pH 4 48
ซ ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่างผักคราดหัวแหวน pH 4 48
ฌ ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่างพุธรักษา pH 4 49

สารบัญภาพ

ภาพ **หน้า**

2.1 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ 8
2.2 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลไตผิวชั้นกรองในแนวนอน..... 9
2.3 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง..... 10
2.4 ชั้นกรองของระบบบึงประดิษฐ์ 11
3.1 ไดอะแกรมของการศึกษา 20
3.2 แบบถังจำลองที่ใช้ในการทดลอง 21
3.3 พุทธรักษา..... 22
3.4 ผักคราดหัวแหวน 23
3.5 ระบบท่อของแบบจำลอง 24
4.1 การเปรียบเทียบความสูงของต้นพืชทั้งภาพชนิด..... 29
4.2 การเปรียบเทียบจำนวนต้นพืชทั้งภาพชนิด 29
4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำเสียของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลองที่พีเอช 4 30
4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลองที่พีเอช 4 31
4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลองที่พีเอช 4..... 32
4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณทีเคเอ็นของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลองที่ พีเอช 4..... 33
4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลองที่พีเอช 4..... 34
4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำเสียของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลองพีเอช 5..... 35
4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลองที่พีเอช 5..... 36
4.10 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลองที่พีเอช 5..... 37
4.11 ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณทีเคเอ็นของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลองที่ พีเอช 5..... 38
4.12 ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลองที่พีเอช 5..... 39

บทที่ 1
บทนำ
ที่มาและความสำคัญ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญทั้งในการอุปโภคและบริโภคน้ำถูกนำมาใช้ในภาคครัวเรือน อุตสาหกรรมตลอดจนทางการเกษตรน้ำที่ผ่านการใช้และไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกจะกลายเป็นน้ำเสียที่มีคุณสมบัติต่างไปจากเดิม น้ำเสียที่มีความเป็นกรด–ด่างสูงมีปริมาณเกลืออนินทรีย์สูงหรือสารพิษเจือปนเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความเป็นกรด–ด่างสูง อาทิเช่น อุตสาหกรรมฟอกย้อม อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล เป็นต้น มีปริมาณเกลืออนินทรีย์สูงหรือสารพิษตกค้างสูงซึ่งน้ำเสียเหล่านี้ไหลลงสู่แหล่งน้ำโดยปราศจากการบำบัดทำให้แหล่งน้ำมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์น้ำ เนื่องจากไม่สามารถดำรงชีวิตและแพร่พันธุ์ได้ตามธรรมชาติการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติสามารถบำบัดได้หลายวิธีทั้งที่เป็นกระบวนการทางกายภาพทางเคมีและทางชีวภาพซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ เป็นวิธีหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียระบบบึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่เลียนแบบกลไกการกำจัดของเสียเลียนแบบธรรมชาติคืออาศัยดินน้ำพืชและจุลินทรีย์เป็นตัวช่วยในการบำบัดของเสียในน้ำบึงประดิษฐ์เป็นระบบที่มีการออกแบบก่อสร้างไม่ซับซ้อนการดูแลระบบไม่ต้องใช้เทคโนโลยีสูงมากจึงไม่จำเป็นต้องมีผู้เชี่ยวชาญในการดำเนินระบบมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและการดำเนินการน้อยระบบมีความยืดหยุ่นสูงสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราภาระบรรทุกต่างๆและสภาพแวดล้อมได้ (Metcalf และ Eddy, 1991) จึงได้รับความนิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียเพิ่มมากขึ้นทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม

โครงงานนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความกรดสูงและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพืชท้องถิ่นโดยน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียน้ำเสียชุมชนผสมกับกรดอะซิติกเข้มข้น (CH_3COOH) นำมาทดสอบกับพืชสองชนิดได้แก่ พุทธรักษา *(Canna indica L.)* และผักคราดหัวแหวน *(Acmellaoleracea L.)* ซึ่งเป็นพืชถิ่นในพื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยาเพื่อลดการแพร่กระจายพันธุ์หรือข้ามถิ่นของพืชซึ่งการแพร่ระบาดของชนิด

พันธุ์ต่างถิ่นก่อให้เกิดความเสียหายต่อความหลากหลายทางชีวภาพในระบบนิเวศต่างๆ ได้อาจกระทบต่อเนื่องทั้งทางเศรษฐกิจและสุขอนามัยของมนุษย์ นอกจากนี้การทดสอบระดับความสามารถรองรับน้ำเสียที่มีความเป็นกรดสูงของพืชท้องถิ่นยังเอื้อต่อการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช ทั้งในแง่ของการขยายพันธุ์พืชเพื่อใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียและการเลือกพื้นที่รับน้ำเสียที่กระทบต่อระบบนิเวศน้อยที่สุดได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้พืชถิ่น ได้แก่ ผักคราดหัวแหวน *(Acmellaoleracea L.)* บำบัดน้ำเสียที่มีความเป็นกรดสูงเปรียบเทียบกับพุทธรักษา *(Canna indica L.)* ในระบบบึงประดิษฐ์
2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด COD, Ortho-P และTKN

ขอบเขตการศึกษา

1. เปรียบเทียบพืช 2 ชนิด คือ ผักคราดหัวแหวน *(Acmellaoleracea L.)* ซึ่งเป็นพืชถิ่นในพื้นที่อนุรักษ์พันธุกรรมพืชมหาวิทยาลัยพะเยา และพุทธรักษา *(Canna indica L.)*

2. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์จากการผสมน้ำเสียชุมชนและกรดอะซิติกเข้มข้น (CH_3COOH) ควบคุม pH อยู่ในช่วง 4 และ 5

3. ในการศึกษาจะสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลง ของค่า pH , COD , TDS , BOD , Ortho-P และ TKN

4. ระยะเวลาการวิเคราะห์ 3 เดือน

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำเสีย หมายถึงน้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ มากมาย จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์อีกต่อไป หรือถ้าปล่อยลงสู่ลำน้ำธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพน้ำของธรรมชาติเสียหายได้

2.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

โดยทั่วไปแล้วแบ่งแหล่งกำเนิดของน้ำเสียได้ 3 ประเภท ได้แก่

2.1.1 น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือน และอาคารประเภทต่าง ๆ เป็นต้น

2.1.2 น้ำเสียจากอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการ อุตสาหกรรมทุกขั้นตอนตั้งแต่การล้างวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การล้างวัสดุอุปกรณ์และเครื่องจักรกล ตลอดจนการทำความสะอาดโรงงาน ลักษณะของน้ำเสียประเภทนี้จะแตกต่างกันไปตามประเภทของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต รวมทั้งระบบควบคุมและบำรุงรักษา องค์ประกอบของน้ำเสียประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในรูปสารอินทรีย์ (Organic Matters) สารอนินทรีย์ (Inorganic Matters) อาทิ สารเคมี โลหะหนัก เป็นต้น

2.1.3 น้ำเสียเกษตรกรรม (Agricultural Wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร ครอบคลุมถึงการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ ลักษณะของน้ำเสียประเภทนี้จะมีสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ ทั้งในรูปของสารอินทรีย์ (Organic Matters) และสารอนินทรีย์ (Inorganic Matters) ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้น้ำ การใช้ปุ๋ย และสารเคมีต่างๆ ถ้าหากเป็นน้ำเสียจากพื้นที่เพาะปลูก จะพบสารอาหารจำพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปรแตสเซียมและสารพิษต่างๆ ใน

ปริมาณสูง แต่ถ้าเป็นน้ำเสียจากกิจการเลี้ยงสัตว์ จะพบสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์เป็นส่วนมาก (องค์การจัดการน้ำเสีย, 2540)

2.2 ลักษณะของน้ำเสีย

2.2.1 สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว ก๋วยเตี๋ยว น้ำแกงเศษ ใบตอง พืชผัก ชิ้นเนื้อ ฯลฯ ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ระดับออกซิเจน ละลายในน้ำหรือดีโอ (Dissolved Oxygen, DO) ลดลงเกิดสภาพเน่าเหม็นได้ ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำนิยม วัดด้วยค่า บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสู ง แสดงว่าสารอินทรีย์ปะปน อยู่มาก และสภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย

2.2.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) แบคทีเรียที่เป็นสารอินทรีย์ในน้ำต้องการออกซิเจน (Aerobic Bacteria) ในการย่อยสลายสารอนินทรีย์ ความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียนี้จะทำให้จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง ดังนั้นในน้ำที่สะอาดจะมีค่า DO สูง และน้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำ มาตรฐานของน้ำที่มีคุณภาพดีโดยทั่วไปจะมีค่า DO ประมาณ 5–8 ppm หรือปริมาณ O_2 ละลายอยู่ปริมาณ 5–8 มิลลิกรัม / ลิตร หรือ 5–8 ppm น้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำกว่า 3 ppm ค่า DO มีความสำคัญในการบ่งบอกว่าแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อความต้องการของสิ่งมีชีวิตหรือไม่

2.2.3 บีโอดี (Biological Oxygen Demand) เป็นปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ น้ำที่มีคุณภาพดี ควรมีค่าบีโอดี ไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าค่าบีโอดีสูงมากแสดงว่าน้ำนั้นเน่ามาก แหล่งน้ำที่มีค่าบีโอดีสูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรจะจัดเป็นน้ำเน่าหรือน้ำเสีย พระราชบัญญัติน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดไว้ว่า น้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ต้องมีค่าบีโอดีไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร การหาค่า บีโอดีหาได้โดยใช้แบคทีเรียย่อยสลายอินทรียสารซึ่งจะเป็นไปช้า ๆ ดังนั้นจึงต้องใช้เวลานานหลายสิบวัน ตามหลักสากลใช้เวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสโดยนำตัวอย่างน้ำที่ต้องการหาบีโอดีมา 2 ขวด ขวดหนึ่งนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าออกซิเจนทันที สมมุติว่ามีออกซิเจนอยู่ 6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำอีกขวดหนึ่งปิดจุกให้แน่น เพื่อไม่ให้อากาศเข้า นำไปเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 5 วัน แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจน สมมติได้ 0.47

มิลลิกรัม ต่อลิตร ดังนั้นจะได้ค่าซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจน ที่ถูกใช้ไป หรือ ค่าบีโอดี = 6.5–0.47 = 5.03 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2.4 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) คือ ปริมาณ O_2 ที่ใช้ในการออกซิไดซ์ในการสลายสารอินทรีย์ด้วยสารเคมีโดยใช้สารละลาย เช่น โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ในปริมาณมากเกินพอ ในสารละลายกรดซัลฟิวริกซึ่งสารอินทรีย์ในน้ำทั้งหมดทั้งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้และย่อยสลายไม่ได้ก็จะถูกออกซิไดซ์ภายใต้ภาวะที่เป็นกรดและการให้ความร้อน โดยทั่วไปค่าซีโอดี จะมีค่ามากกว่าค่าบีโอดีเสมอ ดังนั้นค่าซีโอดีจึงเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งที่แสดงถึงความสกปรกของน้ำเสีย

2.2.5 ทีโอซี (Total Organic Carbon: TOC) คือ ปริมาณคาร์บอนในน้ำ

2.2.6 สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆที่อาจไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทำให้เกิดสภาพน้ำปนเปื้อนหรือเป็นอุปสรรคในกระบวนการผลิตน้ำประปา ได้แก่ คลอไรด์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ เป็นต้น

2.2.7 ของแข็ง (Solids) ประกอบด้วย สารแขวนลอย (Suspended Solids) ตะกอนหนัก (Settleable Solids) และของแข็งละลาย (Dissolved Solids) ซึ่งเมื่อจมตัวสู่ก้นลำน้ำ ทำให้เกิดสภาพไร้ ออกซิเจนที่ท้องน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขินมีความขุ่นสูงมีผลกระทบต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำ และการนำน้ำไปใช้ประโยชน์

2.2.8 กรดและด่าง วัดโดยค่าพีเอช (ค่าพีเอชมากกว่า 7 หมายถึง ความเป็นด่าง ค่าพีเอช น้อยกว่า 7 หมายถึง ความเป็นกรด) น้ำสะอาดจะมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 ค่าพีเอชมีผลต่อการดำรงชีวิตของ สิ่งมีชีวิตในน้ำ และการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 5 ถึง 9 โดยทั่วไปน้ำที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะมีค่าพีเอชที่ต่ำ (พีเอช<7) ซึ่งหมายถึงมีความเป็นกรดสูงมีฤทธิ์กัดกร่อน การวัดค่าพีเอชทำได้ง่าย โดยการใช้กระดาษลิตมัสในการวัดค่าความเป็นกรด – เบส ซึ่งให้สีตามความเข้มข้นของ [H^+] หรือการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดพีเอช เพื่อให้ได้ความละเอียดมากขึ้น สภาพเบส (Alkalinity) คือสภาพที่น้ำมีสภาพความเป็นเบสสูงจะประกอบด้วยไอออนของ OH^-,CO_3^-,H_2CO_3 ของธาตุแคลเซียม โซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม หรือแอมโมเนีย ซึ่งสภาพเบสนี้จะช่วยทำหน้าที่คล้ายบัฟเฟอร์ต้านการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำทิ้ง สภาพกรด (Acidity) โดยทั่วไปน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนจะมีบัฟเฟอร์

ในสภาพเบสจึงไม่ทำให้น้ำมีค่าพีเอชที่ต่ำเกินไป แต่น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะมีค่าพีเอชต่ำกว่า 4.5 ซึ่งมาจาก CO_2 ที่ละลายน้ำ

2.2.9 ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เมื่อมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโต ของสาหร่าย (Algae Bloom) จนเกินขีดความสามารถของแหล่งน้ำนั้นซึ่งจะลดระดับออกซิเจนในน้ำในช่วง กลางคืน และทำให้เกิดวัชพืชซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำและการนำน้ำไปใช้

- *ฟอสฟอรัส* ในน้ำจะอยู่ในรูปของสารประกอบพวกออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) เช่นสาร PO_4^{3-},HPO_4^{2-} ,H_2 PO_4^-และ H_3PO_4 นอกจากนี้ยังมีสารพวกโพลีฟอสเฟต

- *ไนโตรเจน* เป็นธาตุสำคัญสำหรับพืช ซึ่งจะอยู่ในรูปของ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท ไนเตรท ยิ่งถ้าในน้ำมีปริมาณไนโตรเจนสูง จะทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว

- *ซัลเฟอร์* เป็นแร่ธาตุมีอยู่ในธรรมชาติและเป็นองค์ประกอบภายในของสิ่งมีชีวิต สารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำจะอยู่ในรูปของ organic sulfur ซึ่งสารพวกนี้จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเน่า เช่น ที่เรียกว่าก๊าซไข่เน่า และนอกจากนี้ยังมีฤทธิ์กัดกร่อนในสิ่งแวดล้อมได้

2.2.10 จุลินทรีย์ (Microorganism) น้ำเสียจากโรงฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์ หรือโรงงานอาหาร กระป๋องจะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพทำให้สามารถลดระดับของ ดีโอในน้ำในระยะเวลาสั้นได้ ทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็น จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรค ที่เป็นอันตรายต่อประชาชน

2.2.11 สารก่อให้เกิดฟอง/สารซักฟอก ได้แก่ ผงซักฟอก สบู่ ฟอง จะกีดกันการกระจายของ ออกซิเจนอากาศสู่น้ำและเป็นอันตรายต่อปลา

2.2.12 โลหะหนักและสารพิษอื่นๆ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ และสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหาร เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ปรอท โครเมียม ทองแดง ปกติจะอยู่ในน้ำเสียจาก โรงงานอุตสาหกรรม และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับในเขต ชุมชนอาจมีสารพิษนี้มาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ อู่ซ่อมรถ เป็นต้น

2.2.13 น้ำมันและสารลอยน้ำต่างๆ เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสง และกีดขวางการกระจาย ของออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดสภาพไม่น่าดู และอาจเกิดอันตรายจากอัคคีภัยได้ด้วย

2.2.14 สีและความขุ่น มักเกิดจากอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ กระดาษ ฟอกหนัง และโรงฆ่าสัตว์ โดยสีและความขุ่นจะขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์แสงในลำน้ำสีของน้ำเกิดจากการสะท้อนแสงของสารแขวนลอยในน้ำและความขุ่นเกิดจากสารแขวนลอยในน้ำ

2.2.15 ความกระด้าง (Hardness) เป็นการไม่เกิดฟองกับสบู่และเมื่อต้มน้ำกระด้างนี้จะเกิดตะกอน น้ำกระด้างชั่วคราว เกิดจากสารไบคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) รวมตัวกับ ไอออนของโลหะ เช่น Ca^{2+}, Mg^{2+}ซึ่งสามารถแก้ได้โดยการต้ม นอกจากนี้แล้วยังมีความกระด้างถาวรซึ่งเกิดจากอิออนของโลหะและสารที่ไม่ใช่พวกคาร์บอเนต ความกระด้างจึงเป็นข้อเสียในด้านการสิ้นเปลืองทรัพยากร คือต้องใช้ปริมาณสบู่หรือผงซักฟอกในการซักผ้าในปริมาณมาก ซึ่งก็จะเกิดตะกอนมากเช่นกัน

2.2.16 ความร้อน ทำให้เกิดการแบ่งชั้น (Stratification) ของลำน้ำ เร่งปฏิกิริยา การใช้ออกซิเจน ของจุลินทรีย์ และลดระดับของการละลายของออกซิเจนในน้ำ อาจทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็นขึ้นได้ อุณหภูมิ ของน้ำที่เหมาะสมควรอยู่ประมาณ 25-35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำมีผลในด้านการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งจะส่งผลต่อการลดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ

2.2.17 กลิ่น เกิดจากการก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบ ใช้อากาศ หรือกลิ่นอื่นๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงทำปลาป่น โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น

2.2.18 สารกัมมันตรังสี อาจมาจากโรงพยาบาล หรือองค์การของรัฐบางประเภท เป็นสารอันตราย เมื่อสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิต ก่อให้เกิดมะเร็งได้

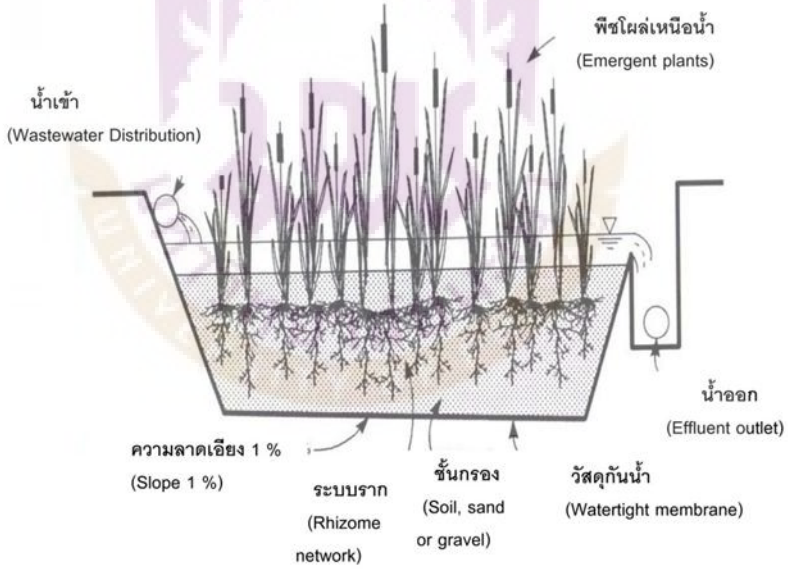
2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland Systems)

บึงประดิษฐ์ ได้ถูกสร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเลียนแบบบึงหรือ พื้นที่ชุ่มน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติด้วยการปลูกพืชชนิดต่างๆ เช่น พืชจำพวก อ้อ กก และธูปฤาษี บนทราย กรวด

หรือดินซึ่งใช้เป็นตัวกรอง โดยทั่วไป บึงประดิษฐ์จะมีลักษณะเป็นร่องหรือช่องแคบๆและยาว ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ แบงออกได้เป็น 3 ประเภท

2.3.1 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (Free Water Surface Systems, FWS)

มีลักษณะเป็นร่องน้ำหรือแอ่งที่มีการเคลือบหรือฉาบวัสดุกันน้ำที่ทำจากดินเหนียวหรือวัสดุทางด้าน ธรณีวิทยาอื่นๆเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำ และประกอบไปด้วยดินและวัสดุตัวกรองต่างๆที่รากพืช สามารถยึดเกาะอยู่ได้ และน้ำที่ไหลอยู่เหนือผิวชั้นกรองจะมีความความลึกในระดับหนึ่ง ซึ่งถ้ามีการ กระจายน้ำเขาระบบสม่ำเสมอโดยเฉพาะในระบบที่มีลักษณะแคบและยาว และมีระดับความลึกของน้ำไม่ มากนัก ประกอบกับน้ำที่ไหลอย่างช้าผ่านกิ่งก้านของพืชที่แผ่กระจายอยู่ในระบบ จะเกิดการไหลของน้ำ แบบไหลตามกัน(Plug–flow) ระบบนี้เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีค่าภาระบีโอดีอยู่ในช่วง 5–100 มิลลิกรัมต่อ ลิตร (US.EPA, 2000)

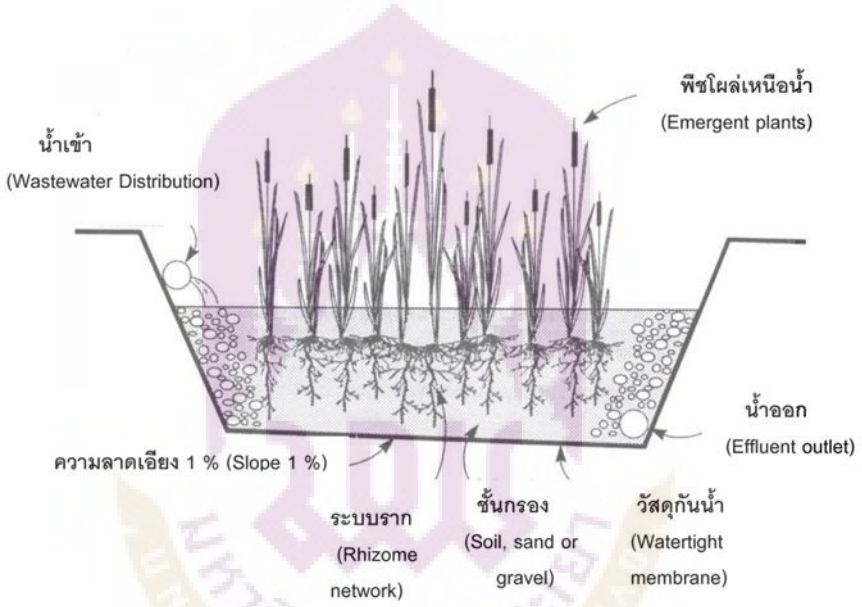


ภาพที่ 2.1 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (กฤตธี วงศ์สถิตย์, 2544)

2.3.2 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลไตผิวชั้นกรองในแนวนอน (Subsurface Flow System, SF)

ระบบนี้ประกอบด้วยร่องยาวหรือพื้นดินที่เคลือบหรือฉาบด้วยวัสดุกันน้ำไว้ด้านล่างเพื่อป้องกัน การรั่วซึมของน้ำ และตัวกรองเพื่อช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะและพืชเจริญเติบโตได ตัว

กรองที่ใช้อาจเป็น หินหรือหินบด (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10–15 ซม.) ดินหรือกรวดอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน การที่น้ำเสียไหลผ่านด้านข้างของตัวกรองจะทำให้น้ำเสียถูกบำบัดในระหว่างสัมผัสกับผิวหน้าของตัวกรอง และส่วนรากของพืชบริเวณใต้ชั้นกรอง จะอิ่มตัวด้วยน้ำตลอดเวลา ทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศขึ้น อย่างไรก็ ตามพืชยังสามารถดึงออกซิเจนเข้าไปยังส่วนรากและไรโซมของพืชได้ซึ่งทำให้จุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศ สามารถเจริญเติบโตในส่วนรากและไรโซมของพืชได ระบบนี้เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีภาระบีโอดีอยู่ในช่วง 30–175 มก./ลิตร (US.EPA, 2000)

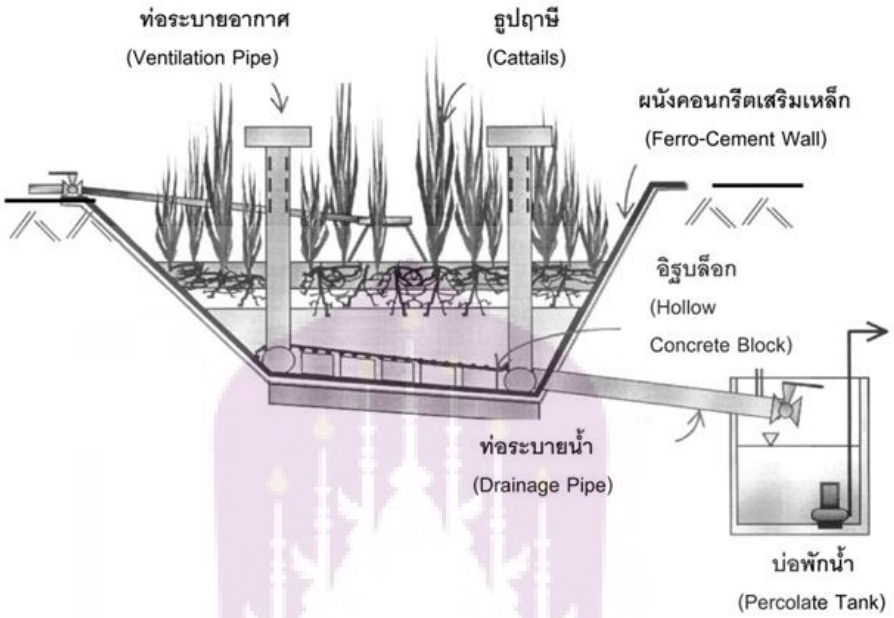


ภาพที่ 2.2 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (กฤตธี วงศ์สถิตย์, 2544)

2.3.3 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง (Vertical Flow, VF)

มีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกันกับบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ และบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน คือ ประกอบไปด้วยตัวกรองเพื่อช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะและ พืชเจริญเติบโตได ตัวกรองที่ใช้อาจเป็นหิน กรวด และทราย อย่างใดอย่างหนึ่งหรือ หลายอย่างรวมกัน น้ำเสียจะไหลผ่านชั้นกรองในแนวดิ่งโดยมีระบบการระบายน้ำอยู่ใต้ ชั้นกรอง (Underdrain System) และบึงประดิษฐ์ประเภทนี้ยังมีระบบระบายอากาศ (Ventilation System) เพื่อ หลีกเลี่ยงไม่ให้มีสภาวะไร้อากาศเกิดขึ้นในส่วนรากของพืช และพื้นที่ว่างเหนือจากบริเวณผิวหน้าชั้นกรอง ขึ้นไปจะใช้เป็นที่สะสมกากตะกอนของ เสียที่ถูกรีดน้ำออก

แลว ระบบนี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีภาระสารอินทรีย์สูงๆ เช่น สิ่งปฏิกูลไดโดยมีความเข้มข้นของบีโอดีที่เขาระบบอยู่ในช่วง 500 – 70,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (US.EPA, 2000)



ภาพที่ 2.3 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง (กฤตธี วงศ์สถิตย์, 2544)

2.4 องค์ประกอบของระบบบึงประดิษฐ์

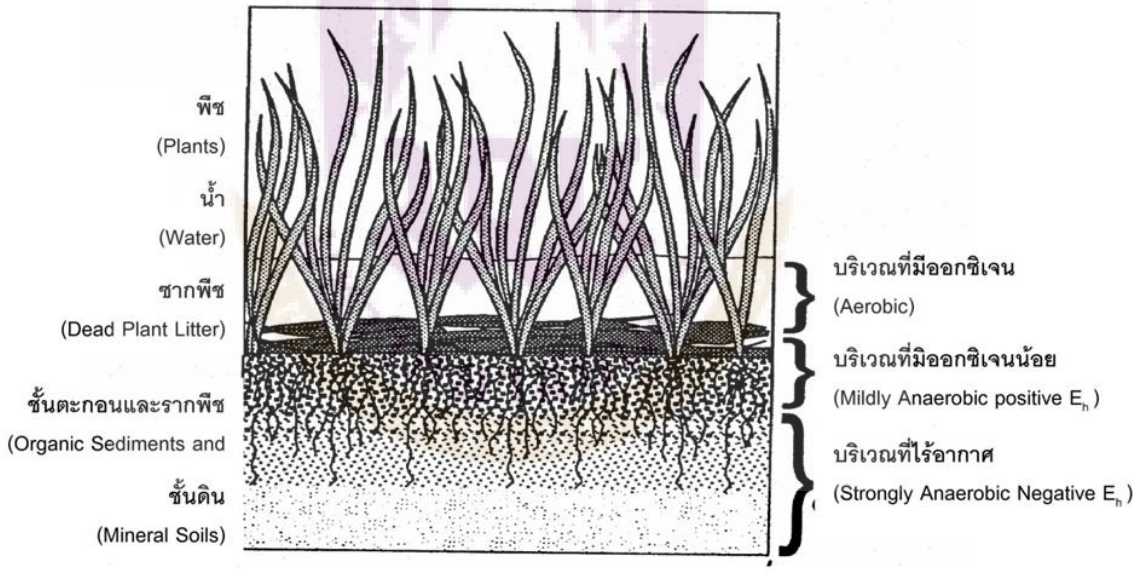
องค์ประกอบของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูล มีดังต่อไปนี้

2.4.1 ชั้นกรอง (Substrata)

ชั้นกรองที่เลือกนำมาใช้ในบึงประดิษฐ์มักเป็นวัสดุที่มีในธรรมชาติ คือ กรวด หิน และทราย ซึ่งสามารถหาไดทั่วไปโดยจะใช้เพียงชนิดหนึ่งชนิดใดหรือใช้รวมกันก็ไดช่องว่างในชั้นกรองเหล่านี้จะใช้เป็นช่องทางการไหลของน้ำในระบบบึงประดิษฐ์นอกจากจะเป็นที่อยู่ของพืชและที่ยึดเกาะสำหรับจุลินทรีย์แล้วชั้นกรองยังเป็นพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบต่างๆ ด้วยลักษณะทางกายภาพของชั้นกรองก็มีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียด้วย ตัวอย่างเช่นชั้นกรองที่เป็นทรายหรือกรวด นิยมนำมาใช้สำหรับบำบัดน้ำเสีย เพราะมีอนุ ภาคขนาดใหญ่ซึ่งจะไมก่อให้เกิดปัญหา การอุดตันขึ้นกับระบบและพืชสามารถยึดเกาะไดง่าย

ชั้นกรองของระบบบึงประดิษฐ์นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับแยกตามปริมาณ ของออกซิเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งได้แก

- บริเวณที่มีออกซิเจน (Aerobic) เป็นบริเวณผิวน้ำของระบบบึงประดิษฐ์ บริเวณนี้น้ำเสียสามารถแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับอากาศได
- บริเวณที่มีออกซิเจนน้อย (Mildly Anaerobic) เป็นบริเวณที่อยู่ถัดจากชั้นที่ มีออกซิเจน (Aerobic) ชั้นนี้เป็นชั้นที่มีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างน้อยเนื่องจากเป็น บริเวณที่มีซากพืชสะสมอยู่อย่างไรก็ตามระบบรากของพืชที่ยึดเกาะอยู่ในชั้นนี้สามารถ ปล่อยออกซิเจนออกมาสูชั้นกรองไดบางส่วน
- บริเวณที่ไรออกซิเจน (Strongly Anaerobic) เป็นบริเวณที่อยู่ชั้นสุดท้ายหรือ ล่างสุดของชั้นกรอง และในบริเวณนี้จะอยู่ในสภาพไรอากาศ (ณัฐพงศ์ เพ็งจันทร์ และ พิทักษ์ บุ้งรุ่ง, 2556)



ภาพที่ 2.4 ชั้นกรองของระบบบึงประดิษฐ์ (กฤตธี วงศ์สถิตย์,2544)

2.4.2 จุลินทรีย์ (Microbial Organism)

จุลินทรียที่พบในบึงประดิษฐ์ มีมากมายหลายชนิด เช่น แบคทีเรีย รา สาหร่าย และโปรโตซัว ซึ่งภายในบึงประดิษฐ์นี้สามารถแบ่งชนิดของจุลินทรียไดเป็น 2 ชนิด

- แบคทีเรียชนิดแขวนลอย คือ แบคทีเรียที่เจริญเติบโตและอาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำและต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ
- แบคทีเรียชนิดเกาะติด คือ แบคทีเรียที่เจริญเติบโตและอาศัยอยู่ในส่วนที่จมน้ำของพืช (ราก ลำต้น) ในดิน ทราย หรือเกาะบนตัวกลางสำหรับบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดิน ซึ่งโดยทั่วไปจุลินทรียเหล่านี้จะทำการเปลี่ยนสาร ปนเปื้อนในน้ำเสียให้เป็นอาหารและพลังงาน นอกจากนี้จุลินทรียต่างๆ ยังสะสมอยู่ในชั้นตะกอน บริเวณด้านล่างของระบบบึงประดิษฐ์ด้วย

โดยทั่วไปจุลินทรียเหล่านี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสารปนเปื้อนในน้ำเสียให้เป็นอาหาร และพลังงานสำหรับการดำรงชีพซึ่งแหล่งพลังงานหลักของจุลชีพคือสารอินทรีย์ และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจะใช้สารอินทรีย์ในการสร้างเซลล์ ในระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์จะมีการจัดสภาวะแวดล้อมให้มีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของ จุลินทรียเหล่านี้ทั้งนี้เพื่อช่วยให้บึงมีประสิทธิภาพการกำจัดของเสียที่ดี

2.4.3 พืช (Plants)

- ดูดซึมธาตุอาหาร และมลสารอื่นๆ เช่น โลหะหนัก และสารอินทรีย์ประเภทสาร กำจัดศัตรูพืช ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย
- กรอง รองรับ และดูดซับสารแขวนลอยที่ปนเปื้อนในน้ำ โดยส่วนต่างๆ ของพืช
- เป็นที่ยึดจับ เจริญเติบโต และให้สภาพที่เหมาะสมต่อการดำรงอยู่ของจุลินทรีย์
- ต้านและลดความเร็วของกระแสน้ำที่เข้าสู่ระบบ ทำให้การตกตะกอนและการกรองเกิดได้ดีขึ้น
- ลดความเร็วของลมที่พัดผ่านผิวหน้าน้ำ ซึ่งจะช่วยลดการฟุ้งกระจายของตะกอนจากพื้นท้องน้ำ
- ลดความเข้มแสง จึงช่วยลดการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของสาหร่ายในระบบ
- ลำเลียงออกซิเจนจากอากาศลงสู่บริเวณราก ช่วยให้จุลินทรีย์ที่บริเวณราก ทำการย่อยสลายมลสารได้ดีขึ้น และออกซิเจนยังช่วยเพิ่มการตกตะกอนของเหล็กและแมงกานีสออกจากน้ำด้วย
- ปลดปล่อยธาตุอาหารและสารประกอบคาร์บอนซึ่งจุลินทรีย์ได้นำไปใช้เป็นอาหาร

- พืชบางชนิดปลดปล่อยเอนไซน์และโคเอนไซน์ ที่ทำหน้าที่ย่อยและเปลี่ยนรูป มลสารบางประเภท
- ทำให้ระบบดูสวยงาม (พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก, 2556)

2.5 ชนิดและลักษณะของพืชในบึงประดิษฐ์

พืชถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับบึงประดิษฐ์ โดยพืชที่ใช้ในบึงประดิษฐ์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได แก พืชลอยน้ำ (Floating Plant), พืชโผล่เหนือน้ำ (Emergent Plant) และพืชใต้น้ำ (Submerged Plant) ซึ่งพืชแต่ละประเภทจะมีคุณลักษณะและการเจริญเติบโตแตกต่างกันไป ในปัจจุบันนิยมเลือกใช้พืชพวกโผล่พ้นน้ำในบึงประดิษฐ์มากกว่าพืชลอยน้ำ เนื่องจากพืชลอยน้ำไม่สามารถทนกับอากาศหนาวและมีการเจริญเติบโตเร็วจึงเกิดการแพร่พันธุ์มาก ดังนั้นการเลือกชนิดของพืชสำหรับบึงประดิษฐ์ควรต้องคำนึงถึงลักษณะและความเหมาะสมของพืชแต่ละประเภทต่อสภาพแวดล้อมและลักษณะน้ำเสียด้วย

2.5.1 พืชลอยน้ำ (Floating Plant) เป็นไม้ที่สามารถปรับตัวให้เจริญเติบโตในน้ำและลอยอยู่ได้หรือมีบางส่วนของต้นโผล่ขึ้นเหนือน้ำทั้งในน้ำตื้นๆ หรือลึกเป็นเมตร โดยลำต้นมีลักษณะโป่งพอง ภายในกลวง ใบแผ่แบน หรือมีรากที่เปลี่ยนเป็นนวมรอบๆตน และมีรากฝอยละเอียดอยู่ใต้น้ำ

2.5.2 พืชโผล่เหนือน้ำ (Emergent Plant) เป็นพืชน้ำที่มีรากเจริญอยู่ในดินใต้น้ำใบและดอกชูขึ้นเหนือน้ำซึ่งแต่ละชนิดก็เติบโตได้ที่ระดับน้ำต่างๆ กัน ตัวอย่างของพืชประเภทนี้ ได้แก่ กก ธูปฤาษี อ้อ พุทธรักษา ธรรมรักษา เป็นต้น พืชชนิดนี้เป็นพืชที่นิยมใช้ในระบบบึงประดิษฐ์ เนื่องจากเป็นพืชที่สามารถปรับตัวและทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมได้ดีและสามารถปลูกได้ทั้งในพื้นที่ชุ่มน้ำและพื้นที่น้ำท่วม คุณสมบัติพิเศษของพืชประเภทนี้ คือ สวนใบที่อยู่เหนือน้ำสามารถนำหรือลำเลียงออกซิเจนจากชั้นบรรยากาศไปยังส่วนรากพืชได้ ส่งผลทำให้ชั้นกรองในบริเวณที่รากพืชยึดเกาะไม่เกิดสภาพไร้อากาศ

2.5.3 พืชใต้น้ำ (Submerged Plant) เป็นพืชที่มีทุกส่วนของต้นอยู่ใต้น้ำมีรากยึดเกาะกับดิน หรืออินทรียวัตถุใต้น้ำหรือลอยอยู่ในน้ำเพื่อให้ต้นทรงตัวอยู่ได้ในระดับน้ำตั้งแต่ 20 เซนติเมตร จนลึกถึง 2 เมตร พืชประเภทนี้ ได้แก่ สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด ดีปลี

น้ำ สันตะวาใบพาย เป็นต้น ถ้าระดับน้ำลึกมากๆ พืชประเภทนี้จะได้รับแสงน้อยและอาจไม่สามารถเจริญเติบโตได้

2.6 ปัจจัยในการพิจารณาเลือกพืชในบึงประดิษฐ์

หน้าที่หลักของพืชในระบบบึงประดิษฐ์ คือ การควบคุมการไหลของน้ำเสียเป็นที่ยึดเกาะและเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายในระบบ พืชถือไว้ว่าเป็นองค์ประกอบหลักของระบบบึงประดิษฐ์ ดังนั้นการเลือกพืชที่จะใช้ในระบบจึงเป็นสิ่งสำคัญ

ปรกติแล้วพันธุ์ของพืชที่จะปลูกในระบบบึงประดิษฐ์ควรเป็นพืชที่สามารถพบได้ในท้องถิ่น เพราะพืชจะคุ้นเคยกับสภาพภูมิอากาศ และพื้นที่ในบริเวณนั้นจึงสามารถเจริญเติบโตได้ดี อย่างไรก็ตามลักษณะของน้ำเสียที่จะใช้บำบัดก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง เช่น พืชที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสาร อาหารสูงๆ เช่น สิ่งปฏิกูล หรือน้ำเสียจากการเกษตร คือ ธูปฤาษี, กก, ออ และหญ้าคมบาง องค์ประกอบสำหรับการเลือกชนิดของพืชที่จะใช้ในระบบแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

2.7 กลไกการบำบัดในระบบบึงประดิษฐ์

บึงประดิษฐ์ สามารถลดค่าบีโอดี กำจัดสารแขวนลอย โลหะหนัก และเชื้อโรคจากน้ำเสียหลายชนิด ได้ในปริมาณสูง โดยมีกลไกลการบำบัด 3 กระบวนการ คือ

– กระบวนการทางกายภาพ ได้แก่ การตกตะกอน ซึ่งตะกอนแขวนลอยจะถูกดักโดยพืชเป็นส่วนใหญ่ วิธีนี้สามารถกำจัดสารแขวนลอยสารอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

– กระบวนการทางเคมี ได้แก่ การดูดซับ การแลกเปลี่ยนไอออนบนผิวของพืชและการตกตะกอนทางเคมี

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบสำหรับการเลือกชนิดของพืชที่ใช้ในระบบ

ปัจจัย	รายละเอียด
พืชท้องถิ่น	เลือกใช้พืชที่มีอยู่ในท้องถิ่นนั้นๆ เนื่องจากมีภูมิอากาศที่เหมาะสม และสามารถหาได้ง่าย พืชจึงสามารถเจริญเติบโตได้ดี ทั้งยังเป็นที่ยอมรับของชุมชนโดยรอบ
พันธุ์พืชที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว	พืชที่เจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว เป็นพืชที่เหมาะในการบำบัดน้ำเสีย แต่เนื่องจากพืชส่วนใหญ่ที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเป็นพืชที่สามารถรุกรานโดยการทำลายพืชชนิดอื่นที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นในการเลือกใช้พืชควรคำนึงถึงลักษณะการแพร่พันธุ์ของพืชด้วย
มีความทนทานต่อสารอินทรีย์สงๆ	บึงประดิษฐ์จะต้องรองรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงๆ อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นพืชที่เลือกใช้ควรมีความทนทานต่อสารอินทรีย์ต่างๆได้
มีความทนทานต่อสภาพน้ำท่วมได้	พืชที่ใช้ในระบบบึงประดิษฐ์นี้อาจแตกต่างพืชในบึงธรรมชาติ เนื่องจากในบึงธรรมชาติมีช่วงที่เป็นฤดูแล้งไม่มีน้ำปกคลุมด้านบน แต่สำหรับ บึงประดิษฐ์ตองรับน้ำเสียเขาระบบอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้น พืชที่เลือกใช้ควรสามารถปรับตัวได้กับสภาพน้ำท่วม
อัตราการเจริญเติบโต	พืชที่มีการเจริญเติบโตช้า เป็นผลให้ต้องใช้พืชในปริมาณมากเพื่อรักษาความหนาแน่นที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นในช่วงเริ่มเดินระบบ ควรมีการดูแลพืชให้พืชเจริญเติบโตได้ดี
ประโยชนต่อสิ่งมีชีวิต	พืชที่ใช้ควรเป็นพืชที่สามารถใช้เป็นที่อยู่ อาหาร หรือทำประโยชน์ต่างๆ ให้กับสิ่งมีชีวิตได้
ความหนาแน่นของพืช	การปลูกพืชชนิดเดียวเป็นการเสี่ยงต่อการทำลายของศัตรูพืชได้การปลูก พืชหลายชนิดในระบบเป็นการแก้ปัญหาศัตรูพืชได้ เนื่องจากหากมีศัตรูพืช ชนิดใดมาทำลายพืชชนิดอื่นยังสามารถทำงานต่อไปได้

ที่มา: US.EPA, (2000)

– กระบวนการทางชีวภาพ ได้แก่ การย่อยสารประกอบอินทรีย์โดยจุลินทรีย์และกระบวนการล่า โดยเกิดการกินกันเองของจุลินทรีย์ต่าง ๆ เป็นกระบวนการกำจัดเชื้อโรคอย่างหนึ่ง

2.8 ประโยชน์จากระบบบึงประดิษฐ์

ทางตรง : ลดปริมาณสารอินทรีย์ ตะกอนแขวนลอย และ สารอาหาร ได้แก่ สารประกอบไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส

ทางอ้อม : ทำให้เกิดสมดุลของระบบนิเวศน์ และสภาพแวดล้อม เป็นที่อยู่อาศัย และแหล่ง อาหารของสัตว์ และสามารถใช้เป็น ที่พักผ่อนหย่อนใจ และศึกษาทางธรรมชาติ

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

WILLIAM and KAREN (1998) ศึกษาเรื่องคุณภาพน้ำของโลหะและการคาดการณ์แบบจำลองของพื้นที่ชุ่มน้ำ เพื่อบำบัดระบบระบายน้ำของเหมืองกรดพื้นที่ชุ่มน้ำได้มีการยอมรับมานานหลายปีว่าเป็นระบบที่ ต้นทุนต่ำ ง่ายต่อการดูแลรักษา ช่วยลดผลกระทบของการระบายเหมืองลด ในเรื่องน้ำใต้ดินเละชุมชนปลายน้ำ สำนักงานเหมืองแร่ของสหรัฐฯ คาดการณ์ในปี 1991 กว่า 400 แห่งของ พื้นที่ชุมน้ำได้รับสร้างขึ้นเพื่อบำบัดการระบายน้ำของเหมือง จากการสำรวจพื้นที่ชุ่มน้ำในการบำบัด (AMD) ของกลางปี 1988 ใน Pennsylvania ที่มีพื้นที่ชุ่มน้ำมากกว่าที่อื่นๆ ในทางตะวันออกของสหรัฐฯ ในขณะที่ รัฐโอไฮโอ มีเกือบ 20 แห่ง พื้นที่ชุมน้ำที่ออกแบบโดยคำนึงถึงเซลล์ของแบคทีเรีย 9 เซลล์ รวมทั้ง 2 กลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อกระตุ้นให้ซัลเฟต เกิดรีดักชั่น ถูกประเมินมีผลต่อคุณภาพน้ำ โดยเน้นความเข้าใจที่จะกำจัดโลหะหนักอย่างถูกต้องของรูปแบบจำลองการคาดการณ์ก่อนเข้าพื้นที่ชุ่มน้ำ ค่าพีเอชและภาวะความเป็นกรดมีผลต่อการปรับปรุงระบบเล็กน้อยผ่านระยะเวลาการศึกษา การศึกษาพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างใหม่จะถูกประเมินความสามารถในการกำจัดสิ่งปนเปื้อน จากการระบายน้ำของเหมือง ลงลำธารเล็กๆ ในทางตอนใต้ของรัฐโอไฮโอ ข้อมูลทางอุทกวิทยาที่ถูกเก็บรวบรวมในปีหนึ่งและครึ่งก่อนมีการสร้างพื้นที่ชุ่มน้ำและมีการรายงานในวิทยานิพนธ์ก่อนหน้า อัตราน้ำไหล Lick Run ตามฤดูกาล ฤดูหนาวจะเปียกและมีความยืดหยุ่นของระบบ และ

ค่อนข้างแห้งในฤดูร้อนและฤดูใบไม้ร่วง อัตราการไหลสูงสุดในเดือนมกราคม – พฤษภาคม 1993 เฉลี่ย 222–248 ลิตรต่อนาที ในขณะอัตราการไหลปกติ 267–104 ลิตรต่อนาที ในทางตรงกันข้ามน้ำเข้าก่อนที่เข้าพื้นที่ชุ่มน้ำต้องคาดการณ์จากการสุ่มกลุ่มตัวอย่างของน้ำ ความเป็นกรดของน้ำในสถานีที่ 1 บริเวณต้นน้ำของเหมืองมีการซึมลงดินอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการวัดแล้วมีความเป็นกรดต่ำสุดเฉลี่ย 112 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแคลเซียมคาร์บอเนต ในพื้นที่ชุ่มน้ำมีการวัดความเป็นกรดของน้ำเข้าเฉลี่ย 838 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ความเป็นกรดเฉลี่ย ลดลง 588 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนตหลังจากผ่านการย่อยในสภาวะมีอากาศ ลดลงเป็น 369 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนตความเป็นกรดที่สถานีที่ 6 208 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ในช่วงเดือนที่มีฝนตกความเป็นกรดจะต่ำสุด 27 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ในช่วงหน้าร้อนฝนน้อยความเป็นกรดสูงถึง 440 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต พีเอชอยู่ในระดับต่ำที่มีค่าเฉลี่ยของ pH=3.5 ประมาณ 1 กิโลเมตรของล่องในพื้นที่ชุ่มน้ำไม่ดีกว่าค่า pH 3.1

Sarah Briden, 2004 ศึกษาผลกระทบการระบายน้ำเหมืองกรดที่มีลักษณะ pH ต่ำของบึงที่ทีการรุกรานของชนิด *Lythrum salicaria* และบึงที่มีธูปฤาษีสายพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งการระบายน้ำเหมืองกรดหรือ AMD ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ชุ่มน้ำในจำนวนมากในภูมิภาคเป็นแนวโดยการลดพีเอชของดิน พีเอชของดินต่ำจะทำให้พื้นที่เหล่านี้เสี่ยงต่อการแพร่กระจายพันธุ์ที่ต่างถิ่นเพื่อตรวจสอบผลกระทบของชนิดพันธุ์และค่าพีเอชต่ำเนื่องจาก AMD การ เจริญเติบโตของธูปฤาษีทั้งเจ็ดสิบสองพื้นที่เมืองและ เจ็ดสิบสอชนิดรุกราน *Lythrum salicaria* ให้อยู่ในระดับ pH 6.5, 4.0 และ 2.5 ปฏิสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตและความเป็นกรดด่างอย่างมีนัยสำคัญผลกระทบต่อชีวมวล (อัตราส่วน F = 3.3289 , p = 0.0387) ของ ธูปฤาษีชีวมวลลดลงอย่างต่อเนื่องที่มีการลดลงในขณะที่ค่าความเป็นกรดด่างมีน้อยลงของผลกระทบที่ *L.salicaria* ของชีวมวลเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นในตอนแรกแล้วลดลงผลของพีเอชต่อความสูงของพืช และ จำนวนใบไม่ได้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ผลลัพธ์เหล่านี้บ่งชี้ว่าอาจจะมี *L.salicaria* เปรียบกว่าธูปฤาษี ในพื้นที่ชุ่มน้ำที่รับผลกระทบจาก AMD ว่าในท้ายที่สุดจะส่งผลในการกำจัดของธูปฤาษี พื้นเมืองและแก้ไขให้มีชีวิตและความหลากหลายในแนวระบบนิเวศของพื้นที่ชุ่มน้ำ

พัฒนพงษ์ ฟองเพชร, จิดาวัลย์ วิบูลย์อุทัย, และ เชาวยุทธ พรพิมลเทพ (2552) ศึกษาประสิทธิภาพของพุทธรักษาในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบการไหลใต้ผิว

ดินเป็นการวิจัยแบบทดลอง (Experimental Research) ภายใต้สภาวการณ์ธรรมชาติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาว่าความหนาแน่นของพุทธรักษาที่ต่างกัน มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่า BOD, SS และ TKN และการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของพืชหรือไม่โดยใช้น้ำเสียชุมชนที่ยังไม่ได้ผ่านการบำบัด นำมาผ่านการดักไขมันและตกตะกอนก่อนเข้าระบบบึงประดิษฐ์แบบการไหลใต้ผิวดิน โดยตัวกลางที่ใช้ได้แก่ตัวกลางทรายปนหิน โดยแบ่งการทดลองเป็น3 ถัง ถังแรกเป็นถังควบคุม ถังที่ 2 ปลูกพุทธรักษาจำนวน 10 ต้น/ตารางเมตร และถังที่ 3 ปลูกพุทธรักษาจำนวน 20 ต้น/ตารางเมตร ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ สถิติที่ใช้วิเคราะห์ คือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และทดสอบสมมติฐานโดยใช้ Kruskal–Wallis k–Sample Test ผลการวิจัยพบว่า ถังที่มีความหนาแน่นของพุทธรักษาที่ต่างกันสามารถกำจัดค่า BOD, SSไม่แตกต่างกัน แต่ถังที่มีความหนาแน่นของพุทธรักษา 20 ต้น สามารถกำจัดดค่า TKN ได้ดีกว่าถังที่มีความหนาแน่นพุทธรักษา 10 ต้นและถังควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยความถังที่มีหนาแน่นของพุทธรักษา 20 ต้น/ตารางเมตร สามารถกำจัดค่า BOD, SS และ TKN ได้สูงสุด 90.7%, 98.5%, 99.0% ตามลำดับ และถังที่ปลูกพุทธรักษาสามารถเจริญเติบโตได้ในการทดลอง โดยมีความสูงเฉลี่ยก่อนการทดลอง 50–60 เซนติเมตร และหลังการทดลอง 150–165 เซนติเมตร สำหรับจำนวนใบ เมื่อเริ่มต้นมีจำนวนใบประมาณ 3–4 ใบ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีจำนวนใบประมาณ 6–8 ใบ โดยหน่วยการทดลองที่มีต้นพุทธรักษามีการเจริญโตไม่แตกต่างกัน

โสมนัส สมประเสริฐและ อุไรรัตน์ แสงจันทร์ (2554) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวแนวราบสำหรับน้ำเสียจากการแปรรูปหอมแดงและกระเทียมซึ่งเป็นอุตสาหกรรมการเกษตรที่สาคัญในภาคเหนือ พืชที่ใช้คือต้นพุทธรักษา (*Canna* spp.) จำนวน 2 บ่อ และธรรมรักษา (*Heliconia* spp.) จานวน 2 บ่อ พบว่าระบบบึงประดิษฐ์สามารถบำบัดน้ำเสียได้ในระดับดี โดยสามารถลดสารอินทรีย์ในรูปของ BOD_5 ได้ถึง 94% ของแข็งแขวนลอยและฟอสฟอรัสรวมถูกกำจัดออกได้ร้อยละ 85 และ 56

การศึกษาของณัฐพงศ์ เพ็งจันทร์ และ พิทักษ์ บุ้งรุ่ง (2556) ทำการศึกษาระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวราบที่บำบัดน้ำเสียควบคุมพีเอช 4 และ 5 พบว่าพุทธรักษาและธรรมรักษาสามารถช่วยเพิ่มพีเอชในน้ำออกได้เป็น 6.8 และ 7.2 ตามลำดับ และพบว่าที่ระดับพี

เอช 4 ต้นธรรมรักษาให้ประสิทธิภาพการบำบัดค่า ซีโอดีและค่าความเป็นกรด ได้ดีกว่าต้นพุทธรักษาเล็กน้อยโดยลดค่าซีโอดีจาก 473.2 มก./ล. เป็น 408 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 13.76% ที่ระดับพีเอช 5 พบว่าต้นพุทธรักษามีประสิทธิภาพการบำบัดได้ดีกว่าต้นธรรมรักษาโดยลดค่าซีโอดีจาก 217.6 มก./ล. เป็น 145.6 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 33.09%

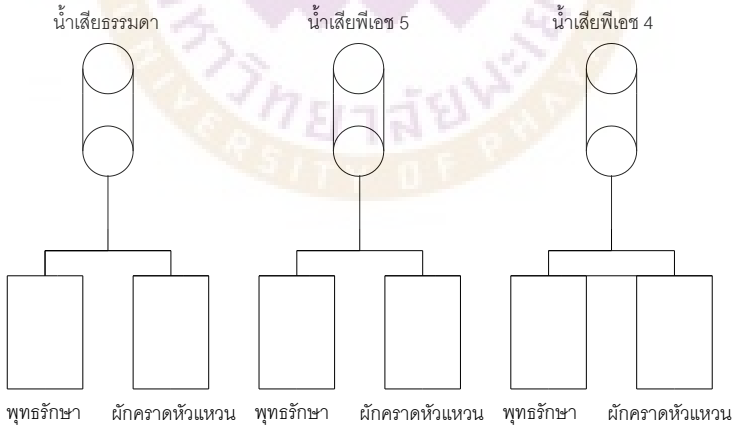
บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้พื้นที่และห้องปฏิบัติการของวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

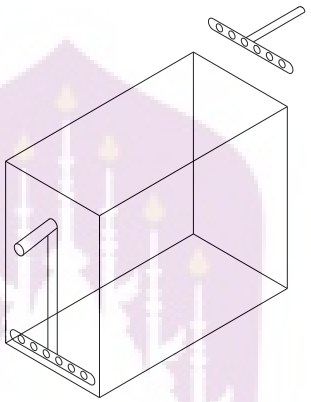
3.1.1 แบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้เป็นแบบจำลองชนิดไหลผ่านตัวกลางใต้ผิวในแนวราบ จำนวน 6 ถัง แบบจำลอง ถังทำจากสังกะสี ขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตร ความยาว 60 เซนติเมตร ความสูง 50 เซนติเมตร ภายในปูพื้นถังด้วยพลาสติก PVC เพื่อป้องกันการกัดกร่อนจากน้ำเสียที่มีสภาพเป็นกรด (ดังรูป 3.1) โดยใช้พืชสองชนิด คือ พุทธรักษา *(Canna indica L.)* และผักคราดหัวแหวน *(Acmellaoleracea L.)* จำนวนถังละ 4 ต้น ระยะห่างในการปลูก 5–10 เซนติเมตร อายุพืช 3 เดือน



ภาพที่ 3.1 ไดอะแกรมของการศึกษา

น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียสังเคราะห์โดยป้อนน้ำเสียจากชุมชนเป็นตัวควบคุมน้ำเสียปรับพีเอชและน้ำเสียปรับพีเอช 4 ตัวกลางภายในแต่ละถังบรรจุหินหัวท้ายด้านละ 10 เซนติเมตร ลึก 40 เซนติเมตร ตรงกลางจะเป็นทรายหยาบท่อน้ำเข้า–ออกเป็นท่อ PVC ขนาด $^1/_2$นิ้ววางในแนวขวางมีเจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร ระยะห่าง 2 มิลลิเมตร ท่อน้ำเข้าอยู่ด้านบนขอบถังส่วนท่อน้ำออกอยู่ด้านล่างและช่องควบคุมน้ำออกสูง 40 เซนติเมตร (ดังรูป 3.2)



ภาพที่ 3.2 แบบถังจำลองที่ใช้ในการทดลอง

3.2 พืชที่ใช้ในการทดลอง

แบบจำลองที่ใช้เป็นแบบจำลองชนิดไหลผ่านตัวกลางใต้ผิวในแนวราบ โดยใช้พืชสองชนิด คือ พุทธรักษา *(Canna indica L.)* และผักคราดหัวแหวน *(Acmellaoleracea L.)*

3.2.1 **พุทธรักษา *(Canna indica.L.)***

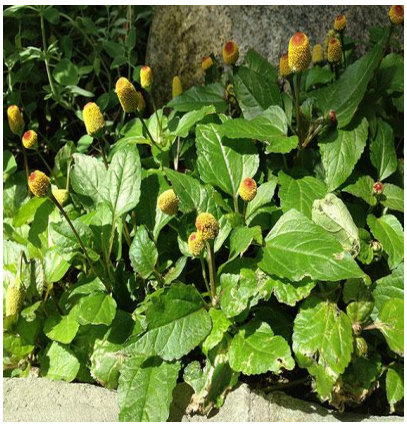
เป็นพรรณไม้ล้มลุก เนื้ออ่อน อวบน้ำ ลำต้นมีความสูงประมาณ 1–2 เมตร มีลำต้นอยู่ใต้ดินเรียกว่า เหง้า มีการเจริญเติบโตโดยแตกหน่อเป็นกอคล้ายกับกล้วย ลักษณะหน่อที่เจริญเป็นต้นเหนือพื้นดินนั้นมีลักษณะกลมแบนสีเขียวขนาดลำต้นโตประมาณ 2–4 เซนติเมตร ใบมีขนาดใหญ่สีเขียวโคนใบและปลายใบรีแหลม ขอบใบเรียบ กลางใบเป็นเส้นนูนเห็นได้ชัดโคนใบมีก้านใบซึ่งยาวเป็นกาบใบหุ้มลำต้นซ้อนสลับกัน ขนาดใบกว้างประมาณ 10–15 เซนติเมตร ยาวประมาณ 25–35 เซนติเมตร ออกดอกเป็นช่อแบบช่อกระจะที่ปลายกิ่ง ทยอยบานทีละ 1–3 ดอก ช่อดอกยาว 15– 20 เซนติเมตร ช่อละ 8–10 ดอก กลีบเลี้ยง 3 กลีบ ขนาดเล็กสีเขียว

อ่อน กลีบดอก 3 กลีบ ดอกบานเต็มที่กว้าง 8–9 เซนติเมตร มีเกสรตัวผู้ซึ่งเปลี่ยนรูปร่างไปเหมือนกลีบดอกมีขนาดใหญ่การขยายพันธุ์ เพาะเมล็ด แยกหน่อ แยกเหง้า (Thiward, 2557)

ภาพที่ 3.3 พุทธรักษา (Thiward, 2557)

3.2.2 **ผักคราดหัวแหวน** ***(Acmellaoleracea L.)***

จัดเป็นไม้ล้มลุกขนาดเล็ก มีอายุปีเดียว มีลำต้นตั้งตรง ลำต้นกลมและอวบน้ำ แตกกิ่งก้านสาขา มีความสูงของลำต้นประมาณ 20–30 เซนติเมตร ต้นมีสีเขียวม่วงแดงปนเข้ม หรือทอดไปตามดินเล็กน้อย แต่ปลายชูขึ้น ลำต้นอ่อนและมีขนปกคุลมขึ้นอยู่เล็กน้อย สามารถพบขึ้นได้ไปในที่ลุ่ม ชื้นแฉะ หรือตามป่าละเมาะ รวมไปถึงที่รกร้าง หรือที่ราบโล่งแจ้งใบเป็นใบเดี่ยวออกตรงข้ามกัน ลักษณะของใบเป็นรูปสามเหลี่ยม รูปไข่ หรือเป็นรูปใบหอกแกมรูปไข่ ขอบใบเรียบ หรือเป็นจักคล้ายฟันเลื่อยแบบหยาบๆ ส่วนของก้านใบมีความประมาณ 1–2 เซนติเมตร ผิวของใบมีขนและสาก แผ่นใบกว้างประมาณ 3–4 เซนติเมตร และยาวประมาณ 3–6 เซนติเมตร ส่วนปลายใบแหลม ส่วนโคนใบสอบ ออกดอกเป็นช่อตามซอกใบและปลายกิ่ง เป็นกระจุกสีเหลือง ดอกมีลักษณะกลมเป็นรูปไข่ ปลายแหลมคล้ายหัวแหวน ยาวประมาณ 8 มิลลิเมตร ดอกย่อยมี 2 วง วงนอกเป็นดอกตัวเมีย ส่วนวงในเป็นดอกสมบูรณ์เพศ ก้านของดอกเรียวยาว และยาวประมาณ 2.5–15 เซนติเมตร ยกตั้งทรงกลมคล้ายกับหัวแหวน มีริ้วประดับอยู่ 2 ชั้น เป็นรูปใบหอกแกมรูปไข่ มีความประมาณ 6 มิลลิเมตร เกลี้ยง ในส่วนของดอกวงนอกที่เป็นดอกตัวเมีย มี 1 วง กลีบดอกเป็นรูปรางน้ำ ดอกวงในเป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอกเป็นรูปท่อ มีปลายแยกเป็น 4–5 แฉก (กรีนเนอรัลด์เฮลท์, 2557)



ภาพที่ 3.4 ผักคราดหัวแหวน (กรีนเนอรัลด์เฮลท์, 2557)

3.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทำการศึกษา

น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียสังเคราะห์โดยป้อนน้ำเสียจากชุมชนเป็นตัวควบคุม น้ำเสียปรับพีเอชและน้ำเสียปรับพีเอช 4 น้ำเสียที่ใช้ในการป้อนเข้าระบบเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ขึ้นจากน้ำเสียชุมชนผสมกับกรดน้ำส้ม (CH_3COOH) โดยมีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบด้วยภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (HLR) 5 เซนติเมตรต่อวัน

ตาราง 3.1 ลักษณะน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ

pH	สัดส่วนน้ำเสีย(%)	ปริมาณกรดน้ำส้ม(%)	COD	TKN
7-8	100	0	118	55
5	99	1	213	52
4	92	8	366	52

3.4 ขั้นตอนและวิธีทำการศึกษา

3.4.1 สร้างแบบจำลอง จำนวน 6 ถังวางระบบท่อตลอดจนบรรจุตัวกลาง (ดังภาพที่ 3.5)

3.4.2 อนุบาลต้นพืชเพื่อให้รากพืชแข็งแรงและแตกหน่อใหม่ก่อนป้อนน้ำเสียเข้าระบบ

3.4.3 น้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นจะถูกเก็บไว้ในถัง 200 ลิตร ภายในถังติดตั้งเครื่องสูบใต้น้ำ โดยมีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบด้วยภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (HLR) 5

เซนติเมตรต่อวัน ด้านบนขอบถังและไหลใต้ผิวผ่านตัวกลางไปยังทางน้ำออกฝั่งตรงข้าม

3.4.4 เก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์และความถี่ดังแสดงในตาราง และสังเกตการเจริญเติบโตของต้นพืชในด้านความยาวต้น/จำนวนต้น ความสูง ทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 5 สัปดาห์ วิธีการวิเคราะห์มาตรฐานการวิเคราะห์น้ำ (APHA, 1999)

ตาราง 3.2 การวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

พารามิเตอร์	จุดเก็บ	ความถี่	วิธีวิเคราะห์
TKN	เข้า/ออก	สัปดาห์ละครั้ง	Titration
Ortho-P	เข้า/ออก	สัปดาห์ละครั้ง	Ascorbic Acid
COD	เข้า/ออก	สัปดาห์ละครั้ง	Close reflux
BOD	เข้า/ออก	สัปดาห์ละครั้ง	Dilution Water
pH	เข้า/ออก	สัปดาห์ละครั้ง	Electrometric Method

ภาพที่ 3.5 ระบบท่อของแบบจำลอง

บทที่ 4

ผลการทดลอง

โครงงานนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความกรดสูงโดยเลือกใช้พืช 2 ชนิด คือ พุทธรักษา *(Canna indica L.)* และผักคราดหัวแหวน *(Acmellaoleracea.L)* ซึ่งเป็นพืชท้องถิ่นของลุ่มน้ำแม่ต๋ำบริเวณมหาวิทยาลัยพะเยาเพื่อทดสอบในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวในแนวราบซึ่งมีการป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นกรดสูงที่พีเอช 4 และพีเอช 5 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพืชทั้ง 2 ชนิด

จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่างของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าความเป็นกรดต่างกัน คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 4 และน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 5 ซึ่งมีถังที่มีการป้อนน้ำเสียธรรมดาที่ความเข้มข้นประมาณพีเอช 7–8 เป็นตัวควบคุม โดยจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมด 9 ครั้ง เพื่อนำน้ำตัวอย่างที่เก็บมาวิเคราะห์หาคุณภาพน้ำเข้าและน้ำออก

4.1 การเจริญเติบโตของพืช

4.1.1 พุทธรักษา*(Canna indica L.)*

ต้นพุทธรักษามีการเจริญเติบโตในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นเป็นกรดที่พีเอช 5 ได้ดีกว่าในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นเป็นกรดที่พีเอช 4 หลังทดสอบได้ 30 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตในถังที่มีน้ำเสียธรรมดาเป็นตัวควบคุม ซึ่งน้ำเสียธรรมดามีค่าความเข้มข้นประมาณพีเอช 7 เนื่องจากในน้ำเสียธรรมดามีปริมาณสารอาหารที่เข้าระบบมากจึงทำให้พืชในถังนี้มีการเจริญเติบโตได้ดีตาม เมื่อพิจารณาความเข้มข้นที่พีเอช 4 ขณะที่เริ่มเดินระบบพบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ สภาพต้นเริ่มมีการปรับตัวโดยมีความสูงเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 27 แต่พอผ่านไปสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ใบและลำต้นของพืชเริ่มเหลืองและไม่มีการแตกหน่อเพิ่ม เมื่อสัปดาห์ที่ 4 และ 5 ใบและลำต้นของพืชเริ่มเหี่ยว แต่ยังไม่ตาย สาเหตุเพราะว่าในน้ำเสียมีทั้งปริมาณสารอาหารและความเป็นกรดสูงผสมกันอยู่ทำให้ต้นพืชเหี่ยวแต่ยังคงดำรงชีพได้ ส่วนความเข้มข้นที่พีเอช 5 พบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ สภาพต้นพืชเริ่มมีการปรับตัวได้ พอผ่านไปสัปดาห์ที่ 2 และ 3 พบว่าต้นพืชยังคงเจริญเติบโตได้ดีและมีการแตกหน่อ

เพิ่มขึ้นจำนวน 4 ต้น เมื่อเวลาผ่านไป 6 สัปดาห์ ลำต้นของพืชมีความสูงเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 59 และจำนวนต้นพืชที่เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 50 สาเหตุเพราะว่าความเป็นกรดที่ความเข้มข้นนี้ยังไม่สูงมากจึงทำให้ต้นพืชยังคงสามารถดำรงชีพได้ ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 การเจริญเติบโตของต้นพุทธรักษา

แบบจำลอง	ความสูงของต้นพืช		ร้อยละความสูงที่เพิ่มขึ้น %	จำนวนต้นพืช		ร้อยละจำนวนต้นพืชที่เพิ่มขึ้น %
	ก่อน (ซม.)	หลัง (ซม.)		ก่อน (ต้น)	หลัง (ต้น)	
น้ำเสียพีเอช 4	27	37	27	4	4	ไม่มีการแตกหน่อ
น้ำเสียพีเอช 5	25	61	59	4	8	50
น้ำเสียควบคุม	29	113	74	4	14	71

ตารางที่ 4.2 การเจริญเติบโตก่อนและหลังของต้นพุทธรักษา

แบบจำลอง	ก่อนป้อนน้ำเสีย	หลังป้อนน้ำเสีย
น้ำเสียพีเอช 4		
น้ำเสียพีเอช 5		
น้ำเสียควบคุม (น้ำเสียพีเอช 7)		

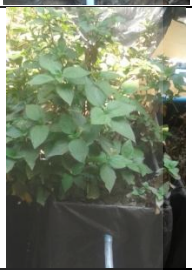
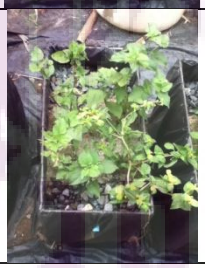
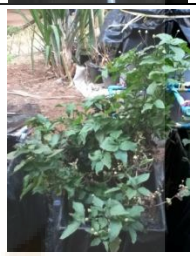
4.1.2 ต้นผักคราดหัวแหวน *(Acmellaoleracea L.)*

ต้นผัดคราดหัวแหวนมีการเจริญเติบโตในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นเป็นกรดที่พีเอช 5 ได้ดีกว่าในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นเป็นกรดที่พีเอช 4 หลังทดสอบได้ 30 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตในถังที่มีน้ำเสียธรรมดาเป็นตัวควบคุม ซึ่งน้ำเสียธรรมดามีค่าความเข้มข้นประมาณพีเอช 7 เนื่องจากในน้ำเสียธรรมดามีปริมาณสารอาหารที่เข้าระบบมากจึงทำให้พืชในถังนี้มีการเจริญเติบโตได้ดีตาม เมื่อพิจารณาความเข้มข้นที่พีเอช 4 ขณะที่เริ่มเดินระบบพบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ ใบและลำต้นของพืชเริ่มเหลืองและไม่มีการแตกกิ่งเพิ่ม เมื่อสัปดาห์ที่ 2 ใบและลำต้นของพืชเริ่มเหี่ยวและตายลง สาเหตุเพราะว่าในน้ำเสียมีทั้งปริมาณสารอาหารและความเป็นกรดสูงผสมกันอยู่ทำให้ต้นพืชเหี่ยวแต่ยังคงดำรงชีพได้ ส่วนความเข้มข้นที่พีเอช 5 พบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ สภาพต้นพืชเริ่มมีการปรับตัวได้ พอผ่านไปสัปดาห์ที่ 2 และ 3 พบว่าต้นพืชยังคงเจริญเติบโตได้ดี พอสัปดาห์ที่ 4 และ 5 ลำต้นเริ่มมีการแตกกิ่งเพิ่มขึ้น 6 กิ่ง เมื่อเวลาผ่านไป 6 สัปดาห์ ลำต้นของพืชมีความสูงเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 66 และมีจำนวนต้นพืชเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 60 ดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 การเจริญเติบโตของต้นผักคราดหัวแหวน

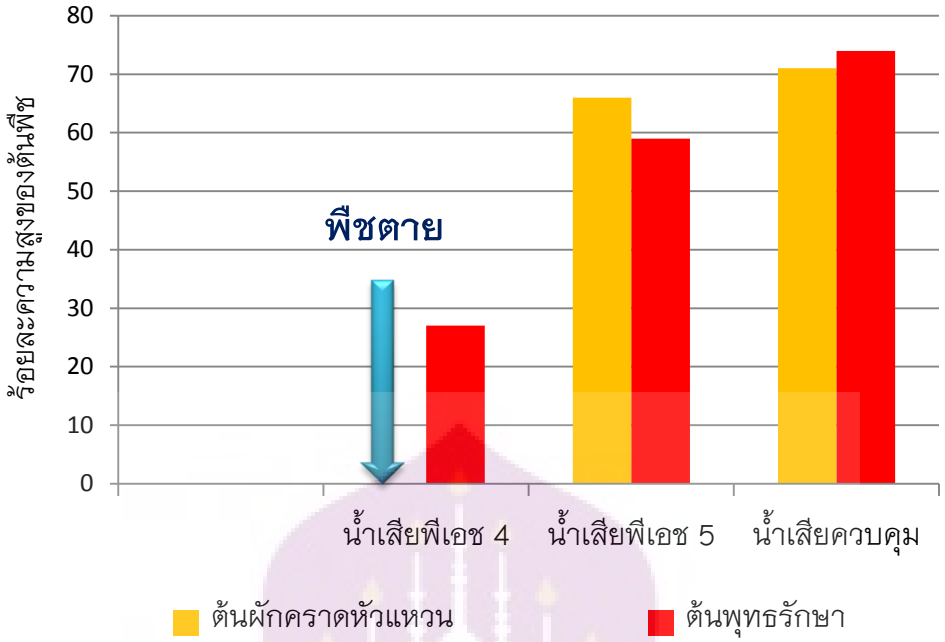
แบบจำลอง	ความสูงของต้นพืช		ร้อยละความสูงที่เพิ่มขึ้น %	จำนวนต้นพืช		ร้อยละจำนวนต้นพืชที่เพิ่มขึ้น %
	ก่อน (ซม.)	หลัง (ซม.)		ก่อน (ต้น)	หลัง (ต้น)	
น้ำเสียพีเอช 4	22	พืชตาย	พืชตาย	4	พืชตาย	พืชตาย
น้ำเสียพีเอช 5	21	61	66	4	10	60
น้ำเสียควบคุม	20	70	71	4	11	64

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตก่อนป้อนน้ำเสียและหลังป้อนน้ำเสียของต้นผักคราดหัวแหวน

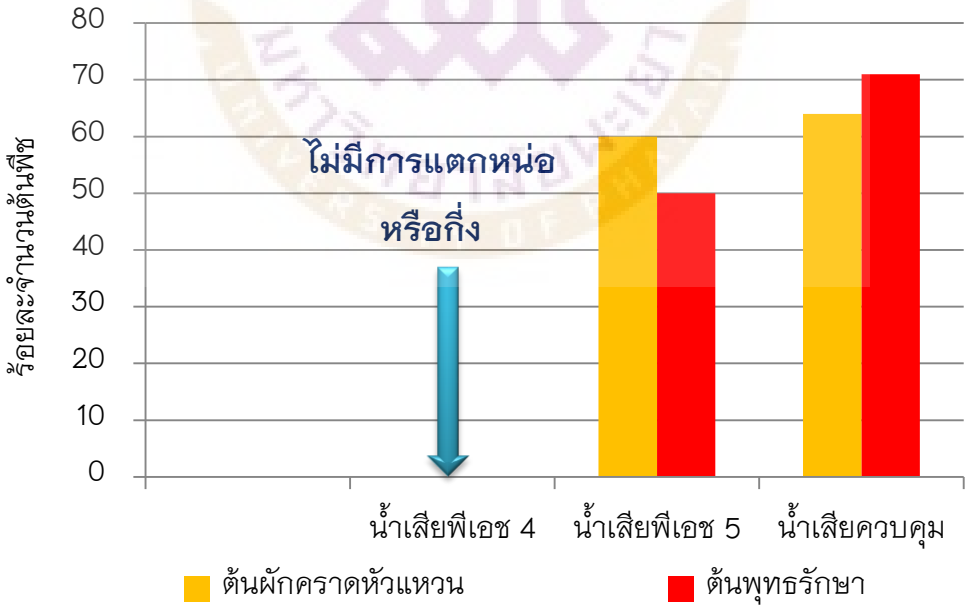
แบบจำลอง	ก่อนป้อนน้ำเสีย	หลังป้อนน้ำเสีย
น้ำเสียพีเอช 4		
น้ำเสียพีเอช 5		
น้ำเสียควบคุม (น้ำเสียพีเอช 7)		

4.1.3 การเปรียบเทียบพืชทั้งสองชนิด ในแต่ละความเข้มข้นของน้ำเสีย

จากการเปรียบเทียบความสูงและจำนวนของต้นพืชทั้งสองชนิด ที่ความเข้มข้นของน้ำเสียพีเอช 4 พบว่าต้นพุทธรักษามีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นผักคราดหัวแหวน เนื่องจากในน้ำเสียมีความเป็นกรดสูงส่งผลให้ต้นผักคราดหัวแหวนไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ส่วนต้นพุทธรักษายังคงสามารถเจริญเติบโตได้แต่ไม่สามารถแตกหน่อได้ ที่ความเข้มข้นของน้ำเสียพีเอช 5 พบว่าต้นผักคราดหัวแหวนมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นพุทธรักษา เนื่องจากในน้ำเสียมีความเป็นกรดและมีปริมาณสารอาหารอยู่ ส่งผลให้ต้นผักคราดหัวแหวนสามารถเจริญเติบโตและมีการแตกกิ่งได้ดีกว่าแต่ต้นพุทธรักษายังคงสามารถเจริญเติบโตและมีการแตกหน่อได้ดี ดังภาพที่ 4.1 และ 4.2



ภาพที่ 4.1 การเปรียบเทียบความสูงที่เพิ่มขึ้นของต้นพืชทั้งสองชนิด

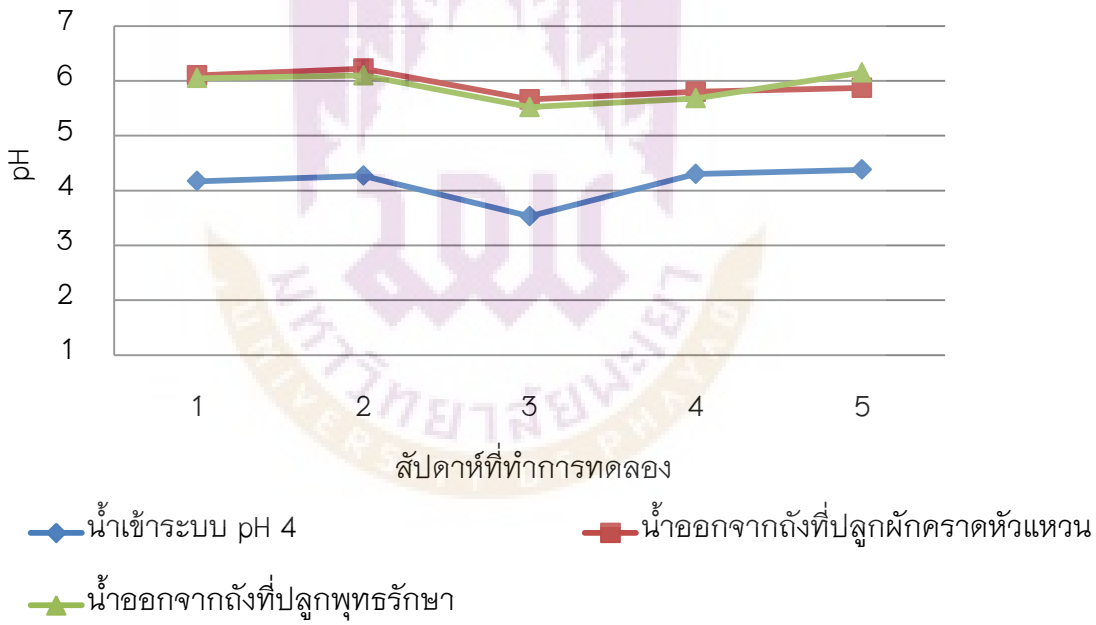


ภาพที่ 4.2 การเปรียบเทียบจำนวนต้นพืชที่เพิ่มขึ้นของพืชทั้งสองชนิด

4.2 การบำบัดน้ำเสียของแบบจำลองที่ควบคุมพีเอช 4

4.2.1 ค่าพีเอช

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ควบคุมค่าพีเอช 4 เตรียมโดยการผสมน้ำเสียชุมชนและน้ำส้มสายชู (CH_3COOH) จำนวน 72 มิลลิลิตร ต่อน้ำเสีย 9 ลิตร มีค่าพีเอชน้ำเข้าเฉลี่ยเท่ากับ 4.13 พบว่าค่าพีเอชน้ำออกจากถังผักคราดหัวแหวนและพุทธรักษา มีค่าเพิ่มขึ้นในระดับที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำออกเท่ากับ 5.87 และ 5.90 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.3 เนื่องจากในน้ำเสียและกรดน้ำส้มสายชูมีสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบจึงทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในระบบและการดูดซึมธาตุอาหารบางส่วนไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช โดยมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการบำบัดน้ำเสียของแบบจำลองที่ปรับพีเอช 5 เพียงเล็กน้อย

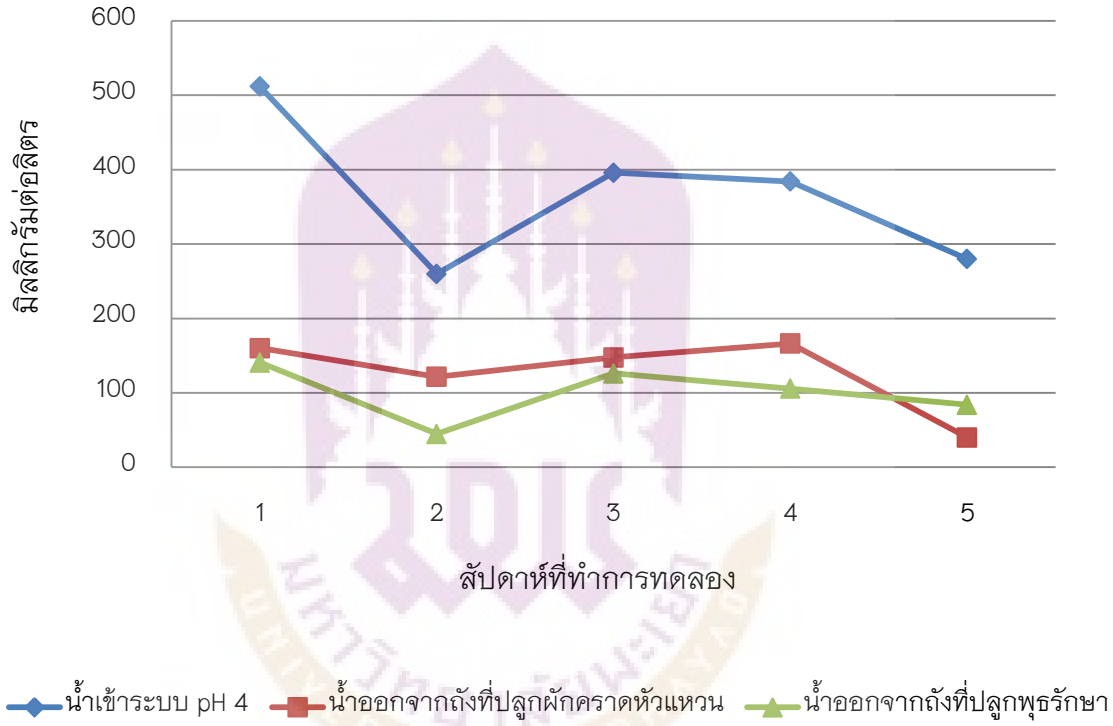


ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำเสียของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลองที่ pH 4

4.2.2 ค่าซีโอดี

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ควบคุมค่าพีเอช 4 มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 366 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากค่าซีโอดีน้ำเข้าไม่คงที่เนื่องจากค่าพีเอชในน้ำเสียธรรมดามีค่าที่ไม่คงที่ เมื่อผ่านระบบพบว่าค่าซีโอดีน้ำออกของต้นพุทธรักษาและต้นผักคราดหัวแหวนมีค่าลดลง โดยมีค่าซีโอดีเฉลี่ย

เท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 127 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 73 และ 65 ตามลำดับโดยรวมแล้วพืชทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพการบำบัดได้ไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากกลไกการบำบัดสารอินทรีย์โดยการตกตะกอนภายในตัวกลาง ส่วนสารที่ละลายได้จะถูกดูดซับที่ผิวที่ผิวของตัวกลาง และย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทั้งกลุ่มที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ธาตุอาหารในน้ำเสียจะลดลงเนื่องจากกลไกการดูดซึมของพืชเพื่อไปใช้ในการเจริญเติบโต ดังภาพที่ 4.4

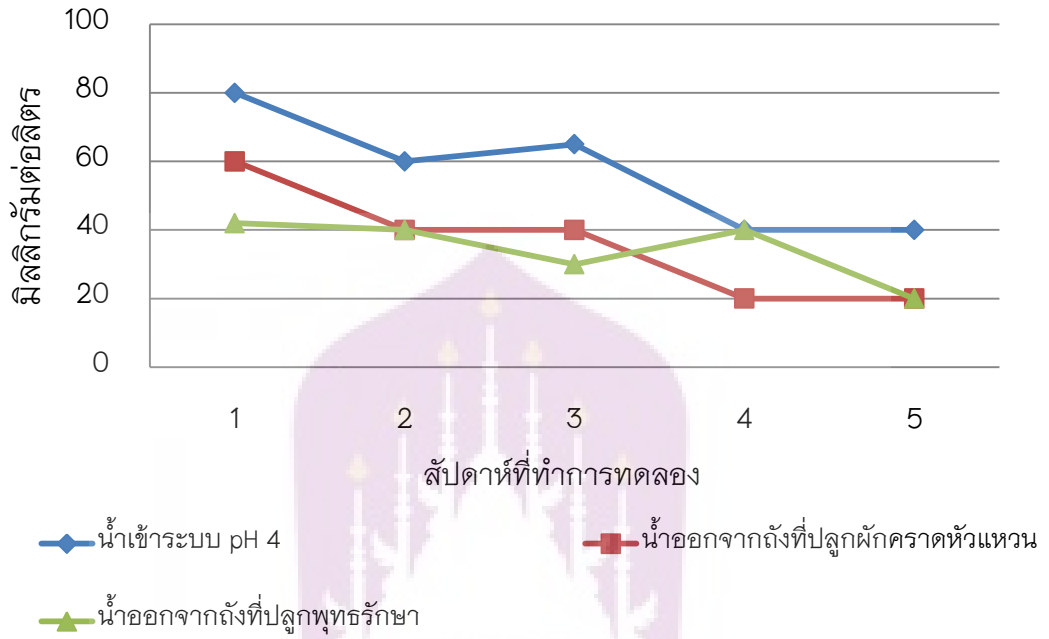


ภาพที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลองที่ pH 4

4.2.3 ค่าบีโอดี

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ควบคุมค่าพีเอช 4 มีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 57 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากค่าซีโอดีน้ำเข้าไม่คงที่เนื่องจากค่าพีเอชในน้ำเสียธรรมดามีค่าที่ไม่คงที่ เมื่อผ่านระบบพบว่าค่าซีโอดีน้ำออกของต้นพุทธรักษาและต้นผักคราดหัวแหวนมีค่าลดลง โดยมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 35 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 40 และ 30 ตามลำดับโดยรวมแล้วพืชทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพการบำบัดได้ไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจาก

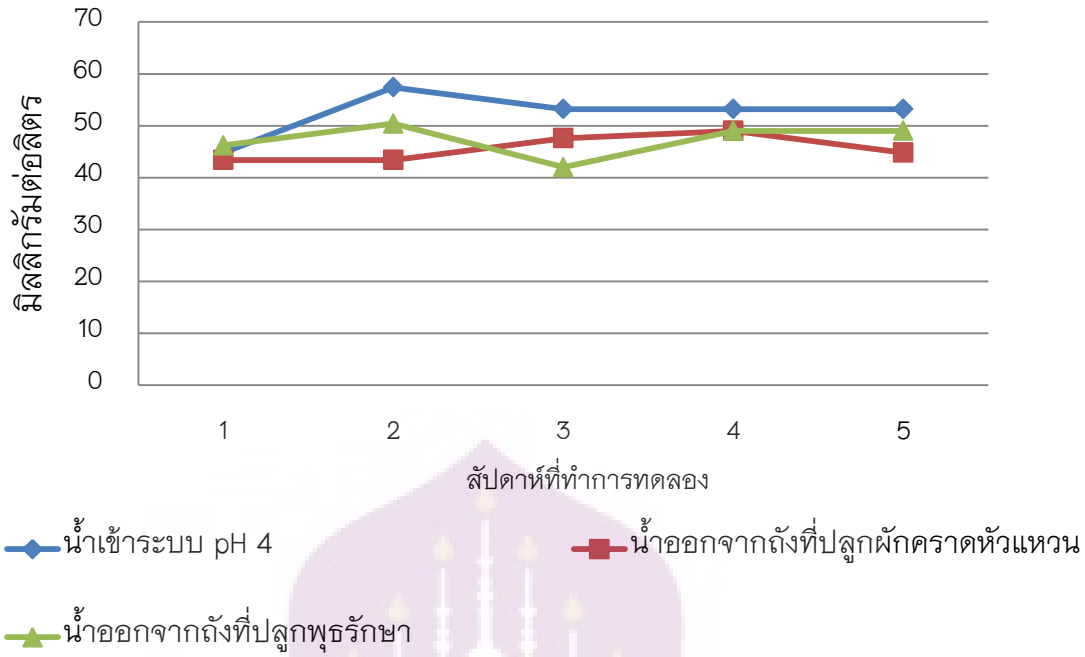
กลไกการบำบัดสารอินทรีย์โดยการตกตะกอนภายในตัวกลาง ส่วนสารที่ละลายได้จะถูกดูดซับและย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทั้งกลุ่มที่ใช้ออกซิเจนแลไม่ใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ธาตุอาหารในน้ำเสียจะลดลงเนื่องจากกลไกการดูดซึมของพืชเพื่อไปใช้ในการเจริญเติบโต ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลองที่ pH 4

4.2.4 ค่าไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น

น้ำเสียที่ความเข้มข้นพีเอช 4 น้ำเข้าระบบมีปริมาณไนโตรเจนในรูปของทีเคเอ็นเฉลี่ยเท่ากับ 52 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านระบบพบว่าปริมาณทีเคเอ็นน้ำออกของต้นพุทธรักษาและต้นผักคราดหัวแหวนมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยมีปริมาณทีเคเอ็นเฉลี่ยเท่ากับ 48 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 46 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 10 และ 13 ตามลำดับโดยรวมแล้วพืชทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพการบำบัดได้ไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากลักษณะการเจริญเติบโตที่ความเข้มข้นนี้พืชทั้งสองชนิดมีเจริญเติบโตไม่ดีมากส่งผลให้กระบวนการดูดซับไนโตรเจนของพืชทั้งสองลดลงทำให้ไม่สามารถบำบัดได้ดี ดังภาพที่ 4.6

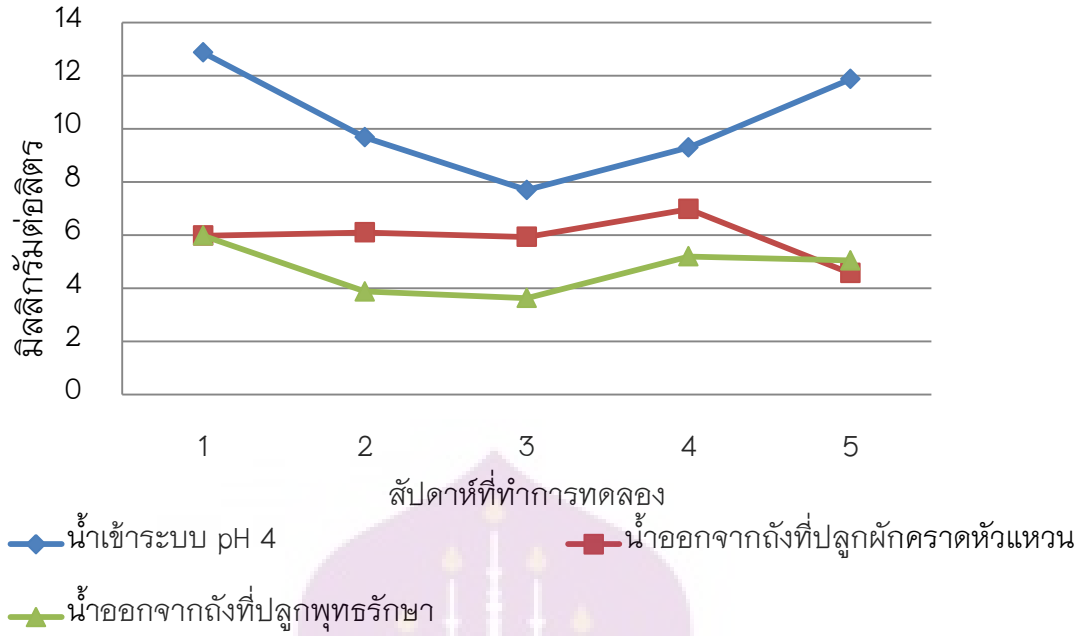


ภาพที่ 4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็นของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลองที่ pH 4

4.2.5 ค่าปริมาณฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟต

น้ำเสียที่ความเข้มข้นพีเอช 4 น้ำเข้าระบบมีปริมาณฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านระบบพบว่าปริมาณทีเคเอ็นน้ำออกของต้นพุทธรักษาและต้นผักคราดหัวแหวนมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยมีปริมาณทีเคเอ็นเฉลี่ยเท่ากับ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 40 และ 50 ตามลำดับ

โดยรวมแล้วพืชทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพการบำบัดได้ไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากลักษณะการเจริญเติบโตที่ความเข้มข้นนี้พืชทั้งสองชนิดมีเจริญเติบโตไม่ดีมากส่งผลให้กระบวนการดูดซึมของพืชทั้งสองลดลงทำให้ไม่สามารถบำบัดได้ดี ดังภาพที่ 4.7

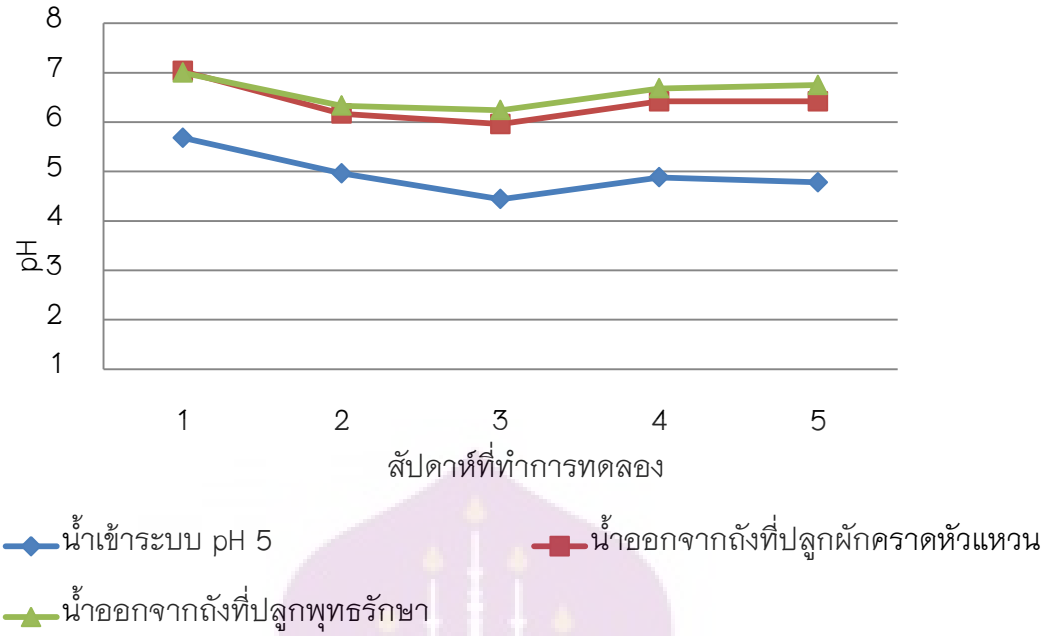


ภาพที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลองที่ pH 4

4.3 การบำบัดน้ำเสียของแบบจำลองที่ควบคุมพีเอช 5

4.3.1 ค่าพีเอช

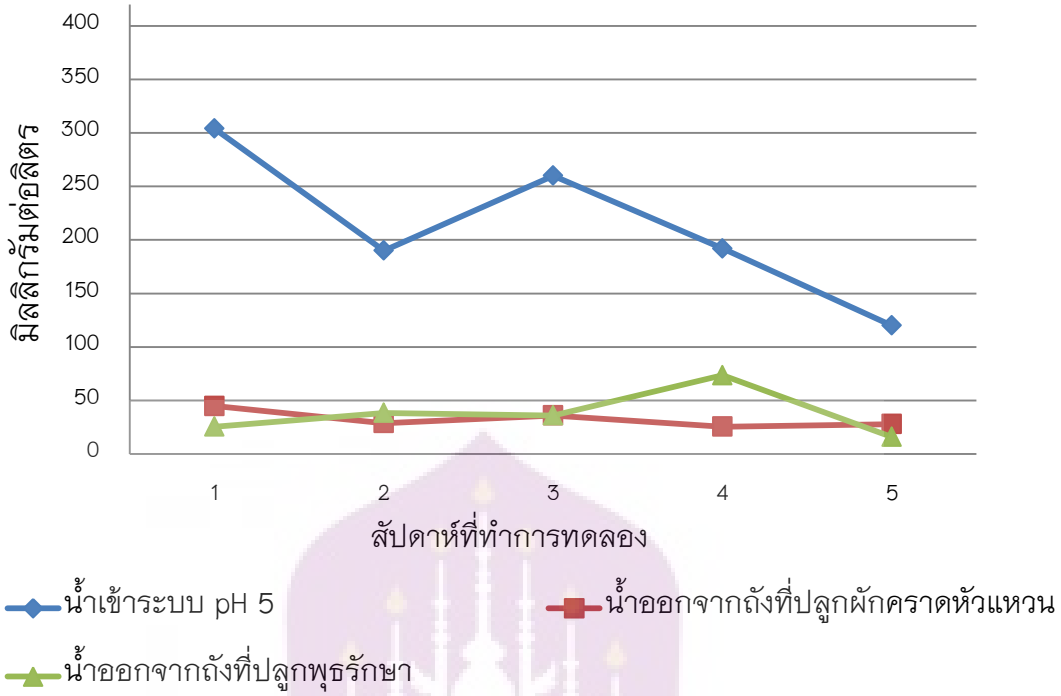
น้ำเสียสังเคราะห์ที่ควบคุมค่าพีเอช 5 เตรียมโดยการผสมน้ำเสียชุมชนและน้ำส้มสายชู (CH_3COOH) จำนวน 9 มิลลิลิตร ต่อน้ำเสีย 9 ลิตร มีค่าพีเอชน้ำเข้าเฉลี่ยเท่ากับ 4.95 พบว่าค่าพีเอชน้ำออกจากถังผักคราดหัวแหวนและพุทธรักษา มีค่าเพิ่มขึ้นในระดับที่ใกล้เคียง โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำออกเท่ากับ 6.40 และ 6.60 ตามลำดับ ดังกราฟที่ 4.8 เนื่องจากในน้ำเสียและกรดน้ำส้มสายชูมีสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบจึงทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในระบบและการดูดซึมธาตุอาหารบางส่วนไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช



ภาพที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำเสียของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลอง pH 5

4.3.2 ค่าซีโอดี

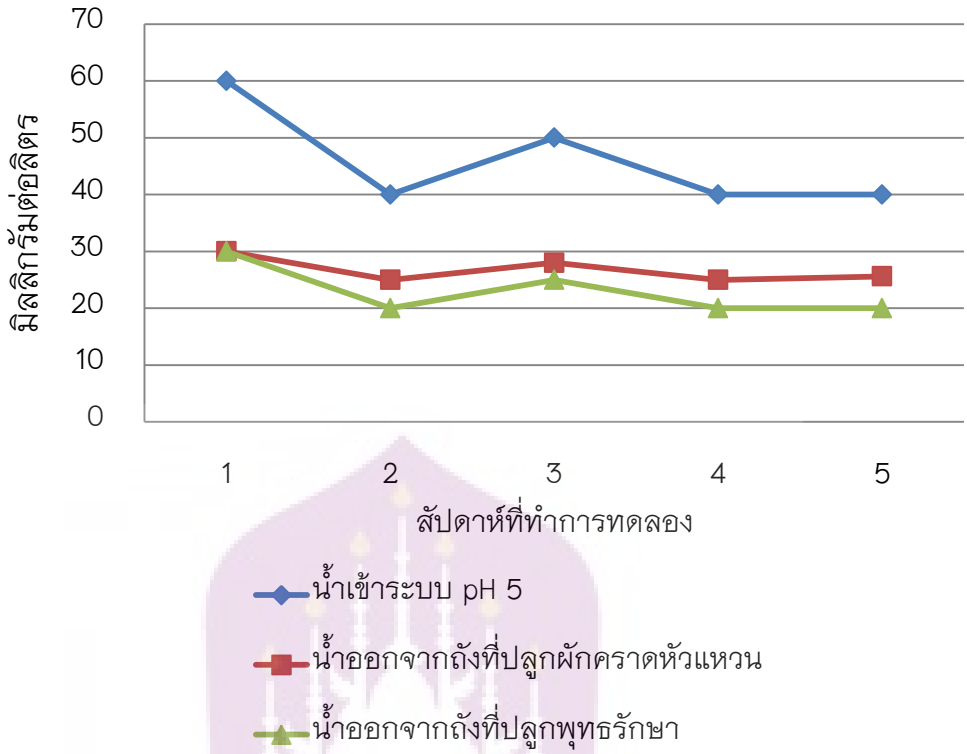
น้ำเสียสังเคราะห์ที่ควบคุมค่าพีเอช 5 มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 213 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากค่าซีโอดีน้ำเข้าไม่คงที่เนื่องจากค่าพีเอชในน้ำเสียธรรมดามีค่าที่ไม่คงที่ เมื่อผ่านระบบพบว่าค่าซีโอดีน้ำออกของต้นพุทธรักษาและต้นผักคราดหัวแหวนมีค่าลดลง โดยมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 38 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 33 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 82 และ 85 ตามลำดับโดยรวมแล้วพืชทั้ง 2 ชนิดมีประสิทธิภาพการบำบัดได้ไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากกลไกการบำบัดสารอินทรีย์โดยการตกตะกอนภายในตัวกลาง ส่วนสารที่ละลายได้จะถูกดูดซับที่ผิวที่ผิวของตัวกลาง และย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทั้งกลุ่มที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ธาตุอาหารในน้ำเสียจะลดลงเนื่องจากกลไกการดูดซึมของพืชเพื่อไปใช้ในการเจริญเติบโต ดังภาพที่ 4.9 และเมื่อเปรียบเทียบค่าซีโอดีที่ความเข้มข้นพีเอช 4 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีที่ความเข้มข้นพีเอช 5 มีประสิทธิภาพดีกว่า เนื่องจากต้นพืชในถังควบคุมที่พีเอช 5 มีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าจึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดีกว่า



ภาพที่ 4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลองที่ pH 5

4.3.3 ค่าบีโอดี

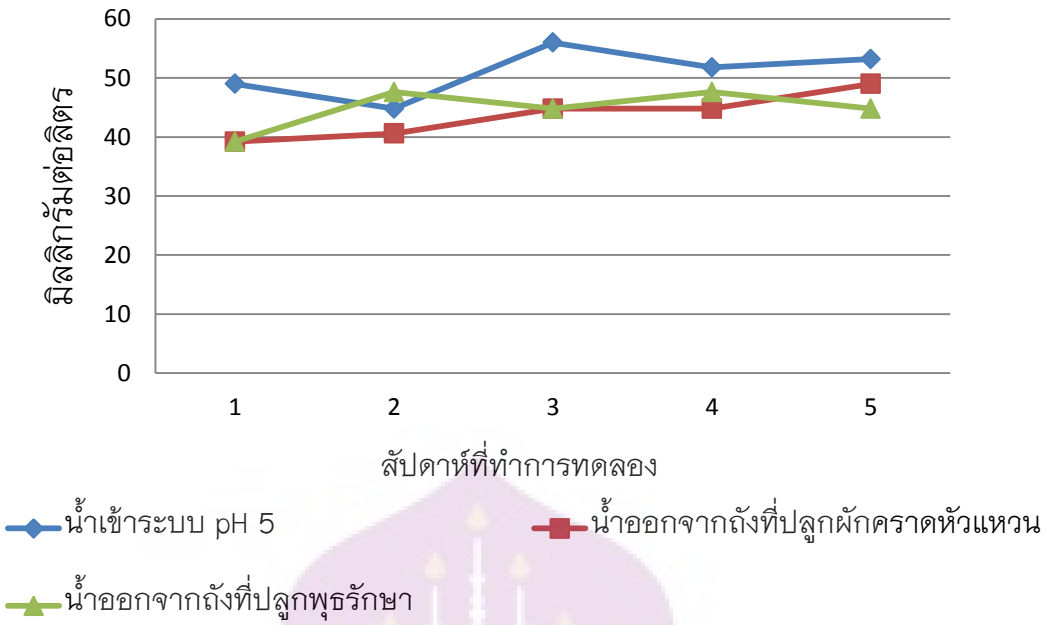
น้ำเสียสังเคราะห์ที่ควบคุมค่าพีเอช 5 มีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 46 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากค่าซีโอดีน้ำเข้าไม่คงที่เนื่องจากค่าพีเอชในน้ำเสียธรรมดามีค่าที่ไม่คงที่ เมื่อผ่านระบบพบว่าค่าซีโอดีน้ำออกของต้นพุทธรักษาและต้นผักคราดหัวแหวนมีค่าลดลง โดยมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 23 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 26 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 50 และ 44 ตามลำดับโดยรวมแล้วพืชทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพการบำบัดได้ไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากกลไกการบำบัดสารอินทรีย์โดยการตกตะกอนภายในตัวกลาง ส่วนสารที่ละลายได้จะถูกดูดซับและย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทั้งกลุ่มที่ใช้ออกซิเจนแลไม่ใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ธาตุอาหารในน้ำเสียจะลดลงเนื่องจากกลไกการดูดซึมของพืชเพื่อไปใช้ในการเจริญเติบโต ดังภาพที่ 4.10 และเมื่อเปรียบเทียบค่าซีโอดีที่ความเข้มข้นพีเอช 4 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีที่ความเข้มข้นพีเอช 5 มีประสิทธิภาพดีกว่า เนื่องจากต้นพืชในถังควบคุมที่พีเอช 5 มีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าจึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดีกว่า



ภาพที่ 4.10 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลอง pH 5

4.3.4 ค่าทีเคเอ็น

น้ำเสียที่ความเข้มข้นพีเอช 5 น้ำเข้าระบบมีปริมาณทีเคเอ็นเฉลี่ยเท่ากับ 51 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านระบบพบว่าปริมาณทีเคเอ็นน้ำออกของต้นพุทธรักษาและต้นผักคราดหัวแหวนมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยมีปริมาณทีเคเอ็นเฉลี่ยเท่ากับ 45 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 44 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 12 และ 14 ตามลำดับโดยรวมแล้วพืชทั้ง 2 ชนิดมีประสิทธิภาพการบำบัดได้ไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากลักษณะการเจริญเติบโตที่ความเข้มข้นนี้พืชทั้งสองชนิดมีเจริญเติบโตไม่ดีมากส่งผลให้กระบวนการดูดซับไนโตรเจนของพืชทั้ง 2 ลดลงทำให้ไม่สามารถบำบัดได้ดี ดังภาพที่ 4.11 และเมื่อเปรียบเทียบค่าทีเคเอ็นที่ความเข้มข้นพีเอช 4 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดค่าทีเคเอ็นที่ความเข้มข้นพีเอช 5 มีประสิทธิภาพดีกว่าเล็กน้อย

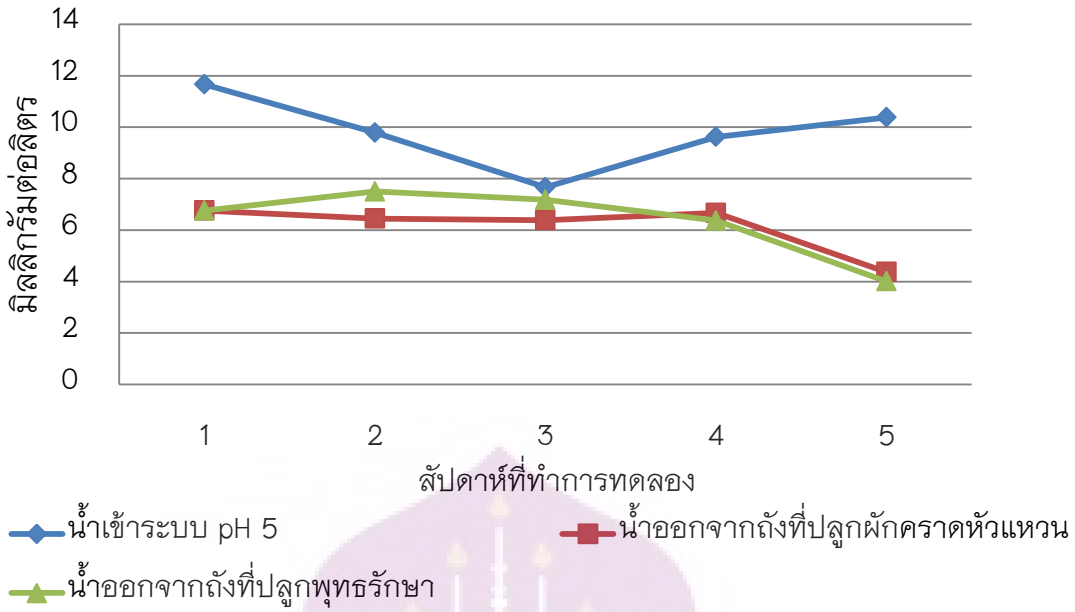


ภาพที่ 4.11 ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณทีเคเอ็นของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลอง pH 5

4.3.5 ค่าปริมาณฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟต

น้ำเสียที่ความเข้มข้นพีเอช 5 น้ำเข้าระบบมีปริมาณฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านระบบพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตน้ำออกของต้นพุทธรักษาและต้นผักคราดหัวแหวนมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 40 และ 40 ตามลำดับ

โดยรวมแล้วพืชทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากัน เนื่องจากลักษณะการเจริญเติบโตที่ความเข้มข้นนี้พืชทั้งสองชนิดมีเจริญเติบโตไม่ดีมากส่งผลให้กระบวนการดูดซับฟอสฟอรัสของพืชทั้งสองลดลงทำให้ไม่สามารถบำบัดได้ดี ดังภาพที่ 4.12 และเมื่อเปรียบเทียบค่าฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตที่ความเข้มข้นพีเอช 4 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดค่าฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตที่ความเข้มข้นพีเอช 4 มีประสิทธิภาพดีกว่าเล็กน้อย



ภาพที่ 4.12 ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตของพืชทั้งสองชนิดในแบบจำลอง pH 5

บทที่ 5
สรุป

ในการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียความเป็นกรดสูงโดยใช้พืชท้องถิ่นบริเวณพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชมหาวิทยาลัยพะเยาในระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวในแนวราบโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันคือพีเอช 4 และ 5 เพื่อทำการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของพืชและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพืชทั้งสองชนิดคือต้นพุทธรักษาและต้นผักคราดหัวแหวน มีผลสรุปดังนี้

จากการศึกษาพบว่าการเจริญเติบโตของพืชในน้ำเสียที่เป็นกรดสูงหรือมีค่าพีเอช 4 พบว่าต้นพุทธรักษามีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นผักคราดหัวแหวนที่ความเข้มข้นของน้ำเสียพีเอช 5 พบว่าต้นผักคราดหัวแหวนมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นพุทธรักษา

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่น้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 4 พบว่าต้นพุทธรักษามีอัตราการบำบัดค่าพีเอช ซีโอดี บีโอดี ได้ดีกว่าต้นผักคราดหัวแหวน โดยค่าพีเอชจากเพิ่มขึ้นจาก 4.13 เป็น 5.90 ลดค่าซีโอดีจาก 366 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 73 และลดค่าบีโอดีจาก 57 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าทีเคเอ็นและออร์โธฟอสเฟตโดยรวมแล้วพืชทั้ง 2 ชนิดมีประสิทธิภาพการบำบัดได้ไม่แตกต่างกันมาก

การทดลองที่น้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 5 พบว่าต้นผักคราดหัวแหวนมีอัตราการบำบัดค่าซีโอดีและทีเคเอ็นได้ดีกว่าต้นพุทธรักษา โดยลดค่าซีโอดีจาก 213 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 33 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 85 ส่วนค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นโดยรวมแล้วพืชทั้ง 2 ชนิดมีประสิทธิภาพการบำบัดได้ไม่แตกต่างกันมาก ค่าออร์โธฟอสเฟตและค่าบีโอดีโดยรวมแล้วพืชทั้ง 2 ชนิดมีประสิทธิภาพการบำบัดได้ไม่แตกต่างกันมาก

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กฤตธี วงศ์สถิตย์. (2544). **การบำบัดน้ำเสียโรงงานฆ่าสัตว์ด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำบึงประดิษฐ์.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

กรีนเนอรัลด์. (6 พ.ย. 2013). ผักคราดหัวแหวน. สืบค้นเมื่อ10 มี.ค. 2014, จาก http://www.greenerald.com

ณัฐพงศ์ เพ็งจันทร์ และ พิทักษ์ บุ้งรุ่ง. (2556). **การทนความเป็นกรดของพืชในระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวในแนวราบ.** วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยพะเยา,พะเยา

พัฒนพงษ์ ฟองเพชร, จิดาวัลย์ วิบูลย์อุทัย, และ เชาวยุทธ พรพิมลเทพ. (2552).ประสิทธิภาพของพุทธรักษาในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยระบบบึงประดิษฐ์ แบบการไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ,วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม ปีที 5 (เล่มที่ 2), 88-99

พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก, (2556). การประยุกต์ใช้ประโยชน์จากพื้นที่ชุ่มน้ำในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ. ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร. สืบค้นเมื่อ 22 มีนาคม 2557, จาก http://www.agi.nu.ac.th/nred/km6.php

โสมนัส สมประเสริฐ และ อุไรรัตน์ แสงจันทร์. (2554). **ประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียจากการดองหอมแดงและกระเทียม**. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย ปีที่ 25 ฉบับที่ 3, หน้า 55-60.

องค์การจัดการน้ำเสีย. (พฤศจิกายน 2540) .หลักการจัดการน้ำเสีย. องค์การจัดการน้ำเสีย. สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน2556, จาก http://www.kmitl.ac.th/~kbkittic/watertreat/wastewatermanagement.html

APHA, AWWA and WPCF. (1999). **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (19th ed.)**. American Public Health Association Inc., Washington D.C.

Metcalf & Eddy, Inc. (1991). **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal Reuse. International Editions.** New York : McGraw-Hill Book.

Sarah Briden (2004). **The Effects of Low pH Characteristic of Acid Mine drainage on *Lythrumsalicaria* an Invasive Wetland Species and *Typhalatifolia* a Native Wetland species.**

Thiwarad. (26 ก.ย. 2012).ประวัติดอกพุทธรักษา. สืบค้นเมื่อ10 มี.ค 2014, จาก http://thiwarad.wordpress.com

U.S. EPA.,(2000). **Wastewater Technology Fact Sheet, Wetland**. Free Water Surface. EPA/832/F-00/024.

U.S. EPA.,(2000). **Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters**. EPA/625/R-99/010

U.S. EPA.,(2000).**Onsite Wastewater Treatment Systems Manual**. EPA/625/R00/008.

U.S. EPA.,(2000). **Wastewater Technology Fact Sheet, Wetland**; Subsurface Flow. EPA/832/F-00/023.

William J. Mitsch and Karen M. Wise.(1998). **Water quality fate of metals and predictivemodel validation of a constructed wetland treating acid mine drainage**.School of Natural Resources, The Ohio State University, Columbus, OH 43210-1085, U.S.A.

ภาคผนวก

ภาคผนวก

ตาราง ก ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์บ่อควบคุม

พารามิเตอร์	BOD (มก./ล.)	กรด–ด่าง (pH)	COD (มก./ล.)	Ortho–P (มก./ล.)	TKN (มก./ล.)
ครั้งที่ 1	60	8.13	160	13.05	49
ครั้งที่ 2	40	8.07	144	9.97	53.2
ครั้งที่ 3	50	7.71	72	11.8	58.8
ครั้งที่ 4	60	7.2	112	12.87	58.8
ครั้งที่ 5	50	7.11	100	9.52	56
ค่าเฉลี่ย	52	**7.64**	**117.6**	**11.44**	**55.16**

ตาราง ข ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่างผักคราดหัวแหวน

พารามิเตอร์	BOD (มก./ล.)	กรด–ด่าง (pH)	COD (มก./ล.)	Ortho–P (มก./ล.)	TKN (มก./ล.)
ครั้งที่ 1	60	7.66	32	11.66	39.2
ครั้งที่ 2	40	7.4	19.2	9.79	11.2
ครั้งที่ 3	50	7.53	10.8	7.66	43.4
ครั้งที่ 4	40	7.45	19.2	9.62	46.2
ครั้งที่ 5	40	7.65	16	10.38	50.4
ค่าเฉลี่ย	46	**7.54**	**19.44**	**9.82**	**38.08**

ตาราง ค ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่างพุทธรักษา

พารามิเตอร์	BOD (มก./ล.)	กรด-ด่าง (pH)	COD (มก./ล.)	Ortho-P (มก./ล.)	TKN (มก./ล.)
ครั้งที่ 1	80	7.44	25.6	12.87	35
ครั้งที่ 2	60	7.6	83.2	9.68	28
ครั้งที่ 3	65	7.19	14.4	7.7	37.8
ครั้งที่ 4	40	7.35	28.8	9.3	42
ครั้งที่ 5	40	7.37	4	11.87	58.8
ค่าเฉลี่ย	57	**7.39**	**31.2**	**10.28**	**40.32**

ตาราง ง ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ pH 5

พารามิเตอร์	BOD (มก./ล.)	กรด-ด่าง (pH)	COD (มก./ล.)	Ortho-P (มก./ล.)	TKN (มก./ล.)
ครั้งที่ 1	60	5.68	304	6.64	49
ครั้งที่ 2	20	4.96	190	7.07	47.6
ครั้งที่ 3	40	4.44	260	6.89	56
ครั้งที่ 4	20	4.88	192	9.37	51.8
ครั้งที่ 5	20	4.78	120	11.77	53.2
ค่าเฉลี่ย	32	**4.95**	**213.2**	**8.35**	**51.52**

ตาราง จ ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่างผักคราดหัวแหวน pH 5

พารามิเตอร์	BOD (มก./ล.)	กรด-ด่าง (pH)	COD (มก./ล.)	Ortho-P (มก./ล.)	TKN (มก./ล.)
ครั้งที่ 1	30	7.03	44.8	6.76	39.2
ครั้งที่ 2	25	6.17	28.8	6.45	40.6
ครั้งที่ 3	28	5.96	36	6.39	44.8
ครั้งที่ 4	25	6.42	25.6	6.67	44.8
ครั้งที่ 5	25.6	6.42	28	6.77	49
ค่าเฉลี่ย	26.72	**6.4**	**32.64**	6.61	**43.68**

ตาราง ฉ ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่างพุทธรักษา pH 5

พารามิเตอร์	BOD (มก./ล.)	กรด-ด่าง (pH)	COD (มก./ล.)	Ortho-P (มก./ล.)	TKN (มก./ล.)
ครั้งที่ 1	60	7	25.6	5.98	39.2
ครั้งที่ 2	40	6.33	38.4	6.1	44.8
ครั้งที่ 3	40	6.24	36	5.83	44.8
ครั้งที่ 4	20	6.68	73.6	6.98	47.6
ครั้งที่ 5	20	6.75	16	4.37	44.8
ค่าเฉลี่ย	**36**	**6.6**	**37.92**	**5.85**	**44.24**

ตาราง ช ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่าง pH 4

พารามิเตอร์	BOD (มก./ล.)	กรด-ด่าง (pH)	COD (มก./ล.)	Ortho-P (มก./ล.)	TKN (มก./ล.)
ครั้งที่ 1	40	4.17	512	6.64	44.8
ครั้งที่ 2	20	4.27	260	5.37	57.4
ครั้งที่ 3	30	3.53	396	5.72	53.2
ครั้งที่ 4	40	4.3	384	7.23	53.2
ครั้งที่ 5	20	4.38	280	4.57	53.2
ค่าเฉลี่ย	30	**4.13**	**366.4**	**5.91**	**52.36**

ตาราง ช ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่างผักคราดหัวแหวน pH 4

พารามิเตอร์	BOD (มก./ล.)	กรด-ด่าง (pH)	COD (มก./ล.)	Ortho-P (มก./ล.)	TKN (มก./ล.)
ครั้งที่ 1	30	6.1	160	7.76	43.4
ครั้งที่ 2	20	6.22	121.6	7.5	43.4
ครั้งที่ 3	25	5.66	147.6	7.18	47.6
ครั้งที่ 4	20	5.8	166.4	6.37	49
ครั้งที่ 5	20	5.87	40	4.01	44.8
ค่าเฉลี่ย	**23**	**5.93**	**127.12**	**6.56**	**45.64**

ตาราง ฌ ผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่างพุธรักษา pH 4

พารามิเตอร์	BOD (มก./ล.)	กรด-ด่าง (pH)	COD (มก./ล.)	Ortho-P (มก./ล.)	TKN (มก./ล.)
ครั้งที่ 1	42	6.05	140.8	5.98	46.2
ครั้งที่ 2	40	6.1	44.8	3.88	50.4
ครั้งที่ 3	30	5.52	126	3.63	42
ครั้งที่ 4	40	5.68	105.6	5.2	49
ครั้งที่ 5	20	6.15	84	5.05	49
ค่าเฉลี่ย	**34.4**	**5.9**	**100.24**	**4.75**	**47.32**

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	ภัทร์ธีรา สารประ
วัน เดือน ปี	2 ธันวาคม 2534
ที่อยู่ปัจจุบัน	78/1 ม.8 ต.หัวเสือ อ.แม่ทะ จ.ลำปาง 52150
ประสบการณ์การทำงาน	ฝึกงาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งไทย เหมืองแม่เมาะ
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแม่เมาะวิทยา จ.ลำปาง

ชื่อ นามสกุล	สุพรรษา โปดำ
วัน เดือน ปี	27 กรกฎาคม 2534
ที่อยู่ปัจจุบัน	302 หมู่ 1 ต.วังใหม่ อ.ป่าบอน จ.พัทลุง 93170
ประสบการณ์การทำงาน	ฝึกงานโครงการเดินเครื่องและบำรุงรักษาประจำโรงไฟฟ้าบริษัทผลิตไฟฟ้าราชบุรี(อค-บร.)
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเบญจมราชูทิศราชบุรี จ.ราชบุรี