รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย การบำบัดน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงปลาสลิดบางบ่อ โดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ

(Treatment of Pond Water for Culture of Snakeskin Gourami Came from Bang Bo District Using Free Water Surface Constructed Wetlands)

โดย เทอดพงศ์ ศรีสุขพันธุ์ และคณะ

30 เมษายน 2561

สัญญาเลขที่ RDG60A0013-12

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย การบำบัดน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงปลาสลิดบางบ่อ โดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ

(Treatment of Pond Water for Culture of Snakeskin Gourami Came from Bang Bo District Using Free Water Surface Constructed Wetlands)

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. อาจารย์ ดร. เทอดพงศ์ ศรีสุขพันธุ์ .	(มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ)
2. อาจารย์ยิ่งเจริญ คูสกุลรัตน์	(มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ)
3. อาจารย์ชฎาภรณ์ ประสาทกุล	(มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ)
4. นายปรีชา สมานมิตร	

ชุดโครงการนวัตกรรมพัฒนาพื้นที่เพื่อเพิ่มมูลค่าของห่วงโซ่เศรษฐกิจปลาสลิดบางบ่อตามยุทธศาสตร์ส่งเสริมสินค้าเกษตรปลอดภัยเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จังหวัดสมุทรปราการ

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
และมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ (มฉก.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. และ มฉก. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

คำนำ

รายงานศึกษาวิจัยเรื่อง การบำบัดน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงปลาสลิดบางบ่อ โดยใช้บึงประดิษฐ์ แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ เป็นส่วนหนึ่งของชุดโครงการวิจัยนวัตกรรมพัฒนาพื้นที่เพื่อเพิ่มมูลค่าของห่วงโซ่เศรษฐกิจปลาสลิดบางบ่อตามยุทธศาสตร์ส่งเสริมสินค้าเกษตรปลอดภัยเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งเป็นโครงการศึกษาวิจัยที่มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติได้รับทุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ประเภททุนโครงการวิจัยท้าทายไทยและโครงการวิจัยตอบสนองนโยบายเป้าหมายรัฐบาลตามระเบียบวาระแห่งชาติ ปี 2559 กลุ่มเรื่องนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาพื้นที่ มีวัตถุประสงค์สำคัญคือ 1) เพื่อศึกษารูปแบบในการเดินระบบบึงประดิษฐ์ที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาบ่อพักน้ำก่อนและหลังการเพาะเลี้ยงของเกษตรกรในการบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด และ 2) เพื่อศึกษาชนิดของพืชน้ำที่เหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาบ่อพักน้ำก่อนและหลังการเพาะเลี้ยงของเกษตรกรในการบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด

รายงานฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้ จะมีเนื้อหาครอบคลุมผลการดำเนินงาน ซึ่งคณะผู้ศึกษาได้รายงานผลการสำรวจคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดและคลองธรรมชาติที่อยู่โดยรอบบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด ผลการทดลองศึกษาประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ในกรณีต่างๆ ได้แก่ 1) การเปรียบเทียบระหว่างการใช้พืชต่างชนิดกัน ได้แก่ บัว ธูปฤาษี หญ้าแห้ว พืชผสม (บัว ธูปฤาษี และหญ้าแห้ว) และชุดควบคุม 2) เปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการเดินระบบที่แตกต่างกัน ได้แก่ การเติมน้ำต่อเนื่อง และการเติมน้ำเป็นกะ รวมถึงการศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้บึงประดิษฐ์ในการเพาะเลี้ยงปลาสลิด

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อจังหวัดสมุทรปราการ และภาคีที่เกี่ยวข้องกับห่วงโซ่เศรษฐกิจปลาสลิดบางบ่อทุกฝ่าย เพื่อนำไปสู่การเพิ่มมูลค่าของห่วงโซ่เศรษฐกิจปลาสลิดบางบ่อตามยุทธศาสตร์ส่งเสริมสินค้าเกษตรปลอดภัยเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จังหวัดสมุทรปราการสืบไป

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	**ก**
สารบัญ	**ข**
สารบัญตาราง	**ค**
สารบัญรูปภาพ	**ง**
บทคัดย่อ	**ฉ**
Abstract	**ช**
บทสรุปผู้บริหาร	**ซ**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**5**
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	**18**
บทที่ 4 ผลการศึกษา	**31**
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ	**70**
บรรณานุกรม	**80**
ภาคผนวก ก. ประวัติย่อผู้วิจัย	84

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.4-1 ข้อมูลที่ควรทราบเกี่ยวกับบึงประดิษฐ์ 10
3.1-1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ 24
3.1-2 รายละเอียดชุดทดลอง 27
3.1-3 วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ 28
3.2-1 แผนงานโครงการ 30
4.1-1 ลักษณะสมบัติของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด 33
4.1-2 ลักษณะสมบัติของน้ำในคลอง 34
4.2-1 ค่าความสกปรกของน้ำเสียสังเคราะห์ 35
4.3-1 ผลทดลองการทดลองที่ 1 36
4.3-2 ผลทดลองการทดลองที่ 2 38
4.3-3 ผลทดลองการทดลองที่ 3 40
4.3-4 ผลทดลองการทดลองที่ 4 42
4.3-4 ผลทดลองการทดลองที่ 5 44
4.4-1 ผลทดลองการทดลองที่ 6 46
4.4-2 ผลทดลองการทดลองที่ 7 48
4.4-3 ผลทดลองการทดลองที่ 8 50
4.4-4 ผลทดลองการทดลองที่ 9 52
4.4-5 ผลทดลองการทดลองที่ 10 54
4.7-1 ระยะเวลาในการบำบัดสำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนนำไปใช้เพาะเลี้ยง กรณีเติมน้ำต่อเนื่อง 67
4.7-2 ระยะเวลาในการบำบัดสำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนนำไปใช้เพาะเลี้ยง กรณีเติมน้ำเป็นกะ 68
4.7-3 ระยะเวลาในการบำบัดสำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยง กรณีเติมน้ำต่อเนื่อง 69
4.7-4 ระยะเวลาในการบำบัดสำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยง กรณีเติมน้ำเป็นกะ 69

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.2-1 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ 6
2.2-2 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน 7
2.2-3 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง 8
2.3-1 รูปแบบการไหลของน้ำในบึงประดิษฐ์ 9
2.4-1 ข้อมูลที่ควรทราบเกี่ยวกับบึงประดิษฐ์ 10
3.1-1 แปลนและรูปตัดชุดทดลองบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ 19
3.1-2 บ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด 21
3.1-3 จุดเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนกอนในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด 22
3.1-4 ตำแหน่งที่ตั้งบ่อเพาะเลี้ยงและจุดเก็บตัวอย่างน้ำผิวดิน โดยรอบพื้นที่บ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด 23
3.1-5 การเก็บต้นพืชจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด 25
3.1-6 เพาะพืชในกระถาง 25
3.1-7 ชุดทดลองบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมชั้นกรองอย่างอิสระ 26
4.3-1 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 1 37
4.3-2 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 2 39
4.3-3 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 3 41
4.3-4 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 4 43
4.3-5 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 5 45
4.4-1 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 6 47
4.4-2 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 7 49
4.4-3 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 8 51
4.4-4 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 9 53
4.4-5 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 10 55
4.5-1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด BOD ของบึงประดิษฐ์ 57
4.5-2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด COD ของบึงประดิษฐ์ 58
4.5-3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TKN ของบึงประดิษฐ์ 60

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.5-4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TP ของบึงประดิษฐ์ 61
4.6-1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด Pb ของบึงประดิษฐ์ 63
4.6-2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด Cd ของบึงประดิษฐ์ 64
4.6-1 เปรียบเทียบอัตราการกำจัดสารอินทรีย์ 65
4.6-2 เปรียบเทียบอัตราการกำจัดธาตุอาหาร 66
5.2-1 การใช้บ่อพักน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ 78

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ 1) เพื่อศึกษารูปแบบในการเดินระบบบึงประดิษฐ์ที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาบ่อพักน้ำก่อนและหลังการเพาะเลี้ยงของเกษตรกรในการบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด และ 2) เพื่อศึกษาชนิดของพืชน้ำที่เหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาบ่อพักน้ำก่อนและหลังการเพาะเลี้ยงของเกษตรกรในการบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีลักษณะเหมือนน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดและใช้ชุดทดลองระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 5 ชุด ปลูกพืชต่างชนิดกัน ประกอบด้วย 1) บัว 2) ธูปฤาษี 3) หญ้าแห้ว 4) พืชผสม และ 5) ชุดควบคุม (ไม่ปลูกพืช) จัดทำจากไฟเบอร์กลาสขนาดกว้าง 0.5 เมตร ยาว 2.0 เมตร ลึก 0.6 เมตร ปลูกพืชด้วยความหนาแน่นเท่ากับ 16 ต้นต่อตารางเมตร โดยแบ่งเป็นรูปแบบการเดินระบบเป็น 2 แบบ ได้แก่ 1) เติมน้ำต่อเนื่อง (Continuous) ด้วยอัตราการไหล 50 ลิตร/วัน และ 2) เติมน้ำแบบเป็นกะ (Batch) จะใช้การขังน้ำในชุดทดลอง ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วทุกๆ 6 วัน เป็นระยะเวลา 60 วัน แล้วทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด

จากผลการทดลองพบว่า ชุดทดลองที่ปลูกพืชผสมเป็นพืชที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้บำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดเนื่องจากให้อัตราการบำบัดสูงที่สุด และเมื่อพิจารณารูปแบบของการเดินระบบ พบว่า กรณีการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องมีอัตราการบำบัดสูงสูงกว่าการเติมน้ำเป็นกะ สามารถบำบัดน้ำให้ผ่านมาตรฐานในระยะเวลา 6 วัน ส่วนกรณีที่เดินระบบแบบเติมน้ำแบบเป็นกะต้องการระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน

Abstract

The objectives of this study were 1) to study appropriate operating conditions of free water surface (FWS) wetland in order to apply for treating pre- and post-pond water used in culture of *Snakeskin Gourami* and 2) to study types of appropriate water plant in order to apply for treating pre- and post-pond water used in culture of *Snakeskin Gourami*.

This study was an experimental research. The experiment was conducted using five fiberglass tanks with width of 0.5 m, length of 2.0 m and height of 0.6 m. There were three different types of water plant with five designed ponds including 1) *Nymphaea nouchali* Burm.f., 2) *Typha angustifoliaL*., 3) *Eleocharisdulcis Trin*., 4) mixed plants with *Nymphaea nouchali* Burm.f., *Typha angustifoliaL*. and *Eleocharisdulcis Trin*., and 5) without plant (a control pond). Plant density was 16 plants m^{-2}. Operating systems of the treatments separated into two conditions including continuous and batch flows. The water sampling was collected every six days for sixty days.

The findings of the research were found that: 1) an appropriate operating condition of free water surface (FWS) wetland was a continuous flow. In order to pass criteria of Thailand Standard for Water Quality in Aquaculture, the continuous and batch flow conditions spent 6 and 30 days for the treatments, respectively. 2) The type of appropriate water plant for treating pre- and post-pond water used in culture of *Snakeskin Gourami* was the mixed plants with *Nymphaea nouchali* Burm.f., *Typha angustifoliaL*. and *Eleocharisdulcis Trin*. because of the highest efficiency in the treating.

บทสรุปผู้บริหาร

โครงการวิจัยเรื่อง การบำบัดน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงปลาสลิดบางบ่อ โดยใช้บึงประดิษฐ์ แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ เป็นส่วนหนึ่งของชุดโครงการวิจัยนวัตกรรมพัฒนาพื้นที่เพื่อเพิ่มมูลค่าของห่วงโซ่เศรษฐกิจปลาสลิดบางบ่อตามยุทธศาสตร์ส่งเสริมสินค้าเกษตรปลอดภัยเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จังหวัดสมุทรปราการ มีวัตถุประสงค์สำคัญคือ 1) เพื่อศึกษารูปแบบในการเดินระบบบึงประดิษฐ์ที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาบ่อพักน้ำก่อนและหลังการเพาะเลี้ยงของเกษตรกรในการบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด และ 2) เพื่อศึกษาชนิดของพืชน้ำที่เหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาบ่อพักน้ำก่อนและหลังการเพาะเลี้ยงของเกษตรกรในการบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด

คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดที่ตั้งอยู่ในตำบลคลองด่าน อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ ที่มีลักษณะการเพาะเลี้ยงแบบภูมิปัญญารวมทั้งสิ้น 4 บ่อ และน้ำในลำคลองที่นำมาใช้เพาะเลี้ยงบริเวณทางทิศเหนือของบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดอยู่ติดกับลำรางสาธารณะ ซึ่งเชื่อมต่อกับคลองโหมบริเวณริมถนนสุขุมวิท ซึ่งเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงได้ใช้น้ำจากคลองดังกล่าวในการเพาะเลี้ยง เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาสลิด พบว่า น้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลามีการสะสมของสารอินทรีย์และไนโตรเจนในน้ำในปริมาณที่มากกว่าค่ามาตรฐานส่วนคุณภาพของน้ำคลองบริเวณโดยรอบบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด ซึ่งจัดเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภท 5 หมายถึงแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถใช้ประโยชน์เพื่อการคมนาคม ไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เพื่อการเกษตร (ประเภท 3) เนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์และโลหะหนักเกินมาตรฐาน และหากเกษตรผู้เพาะเลี้ยงปล่อยน้ำจากการเพาะเลี้ยงปลาทิ้งลงคลองสาธารณะหรือลงสู่แหล่งรองรับน้ำทิ้งโดยตรงโดยไม่มีการบริหารจัดการ อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำได้ เนื่องจากค่า BOD, TKN และ TP เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด

จากผลการสำรวจดังกล่าว จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนนำมาเพาะเลี้ยงปลา โดยคณะผู้วิจัยได้จำลองสภาพของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับสภาพของบ่อพักน้ำของเกษตรกร จำนวน 5 ชุด จัดทำจากไฟเบอร์กลาสขนาดกว้าง 0.5 เมตร ยาว 2.0 เมตร ลึก 0.6 เมตร ชั้นวัสดุกรองในชุดทดลองมี 2 ชั้น และคัดเลือกพืชพบในท้องถิ่นนำมาปลูก ทุกต้นจะปลูกห่างจากผนัง 15 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างต้น ในแนวกว้าง และแนวยาวเท่ากับ 20 เซนติเมตร คิดเป็นความหนาแน่นเท่ากับ 16 ต้นต่อตารางเมตร โดยแบ่งเป็นรูปแบบการเติม 2 ระบบ ระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous) จะใช้ Peristaltic pump สูบน้ำเสียสังเคราะห์จากถังเตรียมน้ำเสีย PE ขนาด 500 ลิตร สำหรับการเติมน้ำเข้าชุดทดลองในการเดินระบบแบบเป็นกะ

(Batch) จะใช้การขังน้ำในชุดทดลอง และทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วทุกๆ 6 วัน เป็นระยะเวลา 60 วัน โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดเฉลี่ยของ BOD และ COD พบว่า การเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะ และธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์สูงสุด ยกเว้นชุดควบคุมที่ไม่มีการปลูกพืชที่พบว่ามีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการทดลองแบบเติมน้ำเป็นกะที่มีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD สูงที่สุด และมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD รองจากธูปฤาษี

ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดธาตุอาหารโดยนำมาวิเคราะห์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส พบว่าธูปฤาษีมีประสิทธิภาพสูงกว่าทั้งในกรณีที่เดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง (ร้อยละ 90.57 และ 76.84 สำหรับธูปฤาษีและหญ้าแห้ว) และกรณีเติมน้ำเป็นกะ (ร้อยละ 47.26 และ 41.82 สำหรับธูปฤาษีและหญ้าแห้ว) ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการกำจัดไนโตรเจนทั้งในกรณีเติมน้ำต่อเนื่อง (2.526 และ 2.227 day^{-1} สำหรับธูปฤาษีและหญ้าแห้ว) และเติมน้ำเป็นกะ (0.195 และ 0.156 day^{-1} สำหรับธูปฤาษีและหญ้าแห้ว) ทั้งนี้ ถึงแม้ว่ากลไกการบำบัดไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเช่นเดียวกัน ได้แก่ จุลินทรีย์ใช้ไนโตรเจนเพื่อการย่อยสลายทางชีววิทยา การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นในน้ำ และรากพืชดูดซับไนโตรเจนจากตะกอนดินเข้าไปในลำต้น ก็ตาม แต่ธูปฤาษีเป็นพืชที่มีรากอยู่ในน้ำจำนวนมาก ทำให้ธูปฤาษีสามารถดูดซับไนโตรเจนจากในน้ำเข้าสู่ลำต้นได้เร็วและมากกว่ากรณีของหญ้าแห้ว ดังนั้นจึงพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนของธูปฤาษีจึงสูงกว่าพืชผสมและหญ้าแห้ว

ส่วนการบำบัดฟอสฟอรัส พบว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องของชุดทดลองบัว ธูปฤาษี หญ้าแห้ว พืชผสม และชุดควบคุม มีอัตราการกำจัดฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.242, 1.084, 0.579, 0.467 และ 0.133 day^{-1} ตามลำดับ ส่วนการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะมีอัตราการกำจัดฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.696, 1.371, 1.087, 3.553, 0.950 day^{-1} ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะมีอัตราการกำจัดฟอสฟอรัสสูงกว่าการเติมน้ำแบบต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องกลไกหลักของการกำจัดฟอสฟอรัสในบึงประดิษฐ์คือ การตกตะกอน (Precipitation) ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ดีในสภาวะน้ำนิ่งขัง

สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนัก โดยนำมาวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียม พบว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากกลไกสำคัญในการบำบัดตะกั่วของระบบบึงประดิษฐ์คือการตกตะกอนเคมี ซึ่งโดยปกติตะกั่วมักจะจับตัวกับสารละลายในน้ำกลายเป็นของแข็งและตะกอนบริเวณผิวหน้าของดินหรือตกสะสมอยู่บริเวณโพรงของรากพืช ซึ่งการปลูกพืชในบึงประดิษฐ์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก โลหะหนักที่อยู่บริเวณโพรงรากพืชบางส่วนจะถูกรากดูดขึ้นมาและส่งต่อไปยังส่วนอื่นๆ ของพืช อีกทั้งพืชยังมีความสามารถคายออกซิเจนออกทางราก ช่วยให้จุลินทรีย์

สามารถดำรงชีวิตได้ ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำหน้าที่ดูดซับโลหะหนักเข้าไปเก็บในเซล สามารถช่วยลดความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำได้

ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงชนิดของพืชและรูปแบบการเดินระบบที่เหมาะสม คณะผู้วิจัยพิจารณาจากหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้ (1) การปรับปรุงคุณภาพน้ำแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 การปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดินให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ก่อนนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาสลิด และ กรณีที่ 2 การปรับปรุงคุณภาพน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดให้ผ่านมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ก่อนระบายออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ (2) เปรียบเทียบระยะเวลาในการบำบัด หรือ เวลากักพักทางชลศาสตร์ (day) ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชชนิดต่าง ๆ และเดินระบบต่างกัน และ (3) ระยะเวลาในการบำบัดขั้นต่ำที่ใช้ ซึ่งสรุปว่า รูปแบบในการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องและเติมน้ำเป็นกะ สามารถบำบัดน้ำคลองให้มีคุณภาพก่อนนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยงได้ และสามารถบำบัดน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานก่อนระบายทิ้งได้ทั้ง 2 รูปแบบ แต่มีข้อดีข้อเสียและวิธีการใช้งานที่แตกต่างกัน ซึ่งเกษตรกรสามารถพิจารณานำไปใช้ได้ตามความเหมาะสม ดังนี้

(1) รูปแบบการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง

เป็นรูปแบบที่เกษตรกรต้องใช้เครื่องสูบน้ำสูบน้ำจากคลองหรือสูบน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงเข้าไปในบ่อบึงประดิษฐ์ด้วยอัตราการไหลควบคุมที่มีระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ไม่น้อยกว่าระยะเวลาที่บึงประดิษฐ์ใช้ในการบำบัด รูปแบบนี้มีข้อดีคือต้องการระยะเวลาในการบำบัดน้อย ใช้พื้นที่บึงประดิษฐ์น้อย แต่มีข้อเสียคือ หากเกษตรกรไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำให้คงที่และเหมาะสมได้ บึงประดิษฐ์จะมีประสิทธิภาพลดต่ำลง รายละเอียดของรูปแบบการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องมีดังนี้

(1.1) กรณีใช้บึงประดิษฐ์สำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำคลองก่อนนำไปใช้เพาะเลี้ยง ควร ปลูกพืชผสมในบึงประดิษฐ์ประกอบด้วย บัว หญ้าแห้ว และธูปฤาษี ด้วยความหนาแน่น 16 ต้นต่อตารางเมตร และใช้ระยะเวลาในการบำบัดไม่น้อยกว่า 6 วัน

(1.2) กรณีใช้บึงประดิษฐ์สำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงก่อนระบายทิ้ง ควรปลูกพืชผสมในบึงประดิษฐ์ประกอบด้วย บัว หญ้าแห้ว และธูปฤาษี ด้วยความหนาแน่น 16 ต้นต่อตารางเมตร และใช้ระยะเวลาในการบำบัดไม่น้อยกว่า 6 วัน

(2) รูปแบบการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะ

เป็นรูปแบบที่เกษตรสามารถปรับปรุงบ่อพักน้ำเดิมให้เป็นบึงประดิษฐ์ได้ง่ายกว่า

รูปแบบการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง เนื่องจากเกษตรกรสามารถปล่อยน้ำคลองหรือน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงเข้ามาขังไว้ในบ่อบึงประดิษฐ์ได้โดยไม่ต้องควบคุมอัตราการไหล แล้วทำการขังน้ำในบ่อไม่น้อยกว่าระยะเวลาการบำบัดที่ต้องการ ทั้งนี้ในการปล่อยน้ำเข้าไปในบึงประดิษฐ์ เกษตรกรสามารถที่จะปล่อยน้ำไหลเข้าบ่อด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกผ่านทางท่อเชื่อมระหว่างบ่อ หรือใช้เครื่องสูบน้ำก็ได้ แต่รูปแบบนี้มีข้อเสียคือ ต้องการระยะเวลาในการบำบัดนานกว่ารูปแบบการเติมน้ำต่อเนื่อง รายละเอียดมีดังนี้

(2.1) กรณีใช้บึงประดิษฐ์สำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำคลองก่อนนำไปใช้เพาะเลี้ยง ควรปลูกพืชผสมในบึงประดิษฐ์ประกอบด้วย บัว หญ้าแห้ว และธูปฤาษี ด้วยความหนาแน่น 16 ต้นต่อตารางเมตร และใช้ระยะเวลาในการบำบัดไม่น้อยกว่า 30 วัน

(2.2) กรณีใช้บึงประดิษฐ์สำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงก่อนระบายทิ้ง ควรปลูกพืชผสมในบึงประดิษฐ์ประกอบด้วย บัว หญ้าแห้ว และธูปฤาษี ด้วยความหนาแน่น 16 ต้นต่อตารางเมตร และใช้ระยะเวลาในการบำบัดไม่น้อยกว่า 12 วัน

คณะผู้วิจัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา หลักการและเหตุผล

อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ มีชื่อเสียงในการเลี้ยงปลาสลิด การเก็บรักษา และการแปรรูปปลาสลิดเป็นอย่างมาก ปลาสลิดบางบ่อมีรสชาติที่ดีเป็นเอกลักษณ์เป็นที่ต้องการของตลาด แต่จากงานวิจัยของสุรีย์พร หอมวิเศษวงศา และคณะ (2559) เก็บตัวอย่างจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดบางบ่อ ซึ่งตรวจพบการปนเปื้อนของตะกั่วและแคดเมียมในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยง เครื่องในปลาสลิด และดินตะกอน แต่ปริมาณที่ตรวจพบยังมีค่าไม่เกินมาตรฐานกำหนด ถึงแม้ว่าปริมาณที่ตรวจพบยังมีค่าไม่เกินมาตรฐานกำหนด แต่อาจกระทบต่อความเชื่อมั่นของผู้บริโภค รวมถึงอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้เพาะเลี้ยงและผู้แปรรูปปลาสลิดที่ต้องสัมผัสกับชิ้นส่วนปลาสลิดที่ปนเปื้อนโลหะหนักอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน

ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภค และสร้างความปลอดภัยให้แก่ผู้เพาะเลี้ยงและผู้แปรรูปปลาสลิด อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าของปลาสลิดบางบ่อ กลุ่มผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาแนวทางการบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด โดยการพัฒนาบ่อพักน้ำภายในพื้นที่บ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดให้เป็นระบบบึงประดิษฐ์ (Wetland treatment) ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษารูปแบบในการเดินระบบบึงประดิษฐ์ที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาบ่อพักน้ำก่อนและหลังการเพาะเลี้ยงของเกษตรกรในการบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด

1.2.2 เพื่อศึกษาชนิดของพืชน้ำที่เหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาบ่อพักน้ำก่อนและหลังการเพาะเลี้ยงของเกษตรกรในการบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด

1.3 คำถามการวิจัย

1.3.1 ลักษณะสมบัติของน้ำคลองที่ใช้เกษตรกรใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาสลิดบางบ่อเป็นอย่างไร

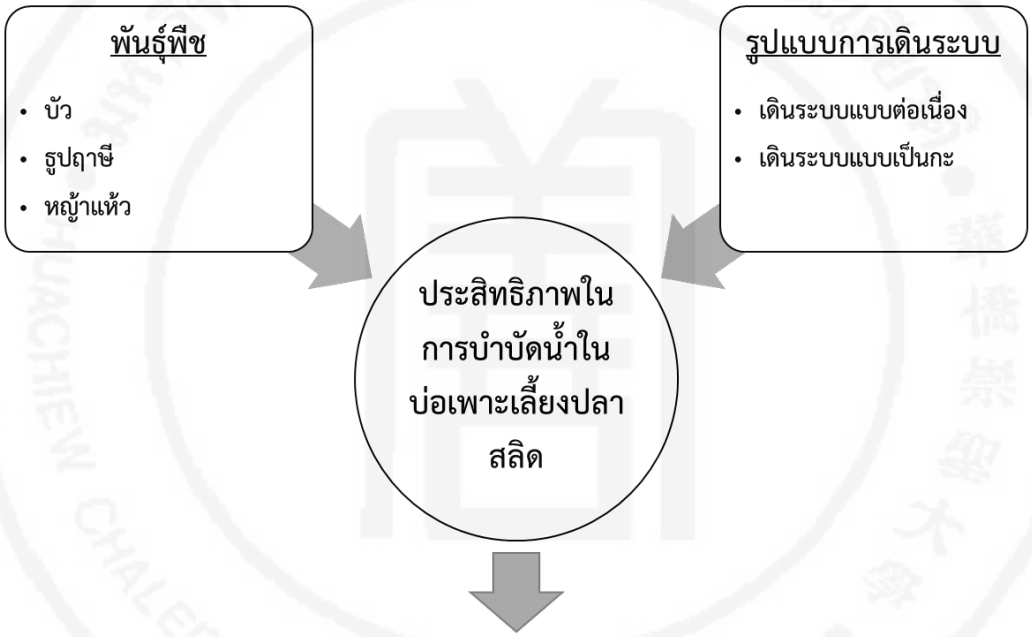
1.3.2 รูปแบบการเดินระบบบึงประดิษฐ์ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาบ่อพักน้ำของเกษตรกรในการบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดเป็นอย่างไร

1.3.3 ชนิดของพืชน้ำที่เหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาบ่อพักของเกษตรกรในการบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดคือพืชอะไร

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ HUACHIEW CHALERMPRAKIET UNIVERSITY 華僑崇聖大學

1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย

คณะผู้วิจัยจะดำเนินการศึกษารูปแบบของการเดินระบบบึงประดิษฐ์และพันธุ์พืชที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด และมีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงบ่อพักน้ำก่อนและหลังการเพาะเลี้ยงของเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงปลาสลิดบางบ่อให้มีความสามารถในการบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด โดยมีกรอบแนวคิดดังนี้



กรอบแนวคิดในการวิจัย

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เป้าหมายของผลผลิต (output) และตัวชี้วัด

ระยะเวลา	*ผลผลิต (output)*	*ตัวชี้วัด*
เดือนที่ 1-3 (ก.ค.-ก.ย.)	- องค์ประกอบของน้ำสังเคราะห์ที่มีลักษณะเหมือนน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง - ชุดทดลองบึงประดิษฐ์	- ได้องค์ประกอบของน้ำสังเคราะห์ที่มีลักษณะเหมือนน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง - ได้ชุดทดลองจำนวน 5 ชุด
เดือนที่ 4-6 (ต.ค.-ธ.ค.)	- ผลการเดินระบบของบึงประดิษฐ์แบบต่อเนื่อง	- ผลการศึกษาของบึงประดิษฐ์แบบต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 5 ชุดการทดลอง
เดือนที่ 6-8 (ธ.ค.-ก.พ.)	- ผลการเดินระบบของบึงประดิษฐ์แบบเป็นกะ	- ผลการศึกษาของบึงประดิษฐ์แบบเป็นกะไม่น้อยกว่า 5 ชุดการทดลอง
เดือนที่ 9-10 (มี.ค.-เม.ย.)	- สรุปผลการศึกษา - รูปแบบการเดินระบบที่เหมาะสม - ชนิดของพืชที่เหมาะสม - รูปแบบของการประยุกต์ใช้ในพื้นที่บ่อเพาะเลี้ยง	- ได้รูปแบบที่เหมาะสม - ได้ชนิดพืชที่เหมาะสม - ได้รูปแบบในการประยุกต์ใช้ในพื้นที่บ่อเพาะเลี้ยง

1.5.2 เป้าหมายของผลลัพธ์ (outcome) และตัวชี้วัด

เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงปลาสลิดสามารถนำรูปแบบของบึงประดิษฐ์ไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่บ่อก่อนและหลังการเพาะเลี้ยงของเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงปลาสลิดบางบ่อ ให้มีความสามารถในการบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดได้อย่างเหมาะสม

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์

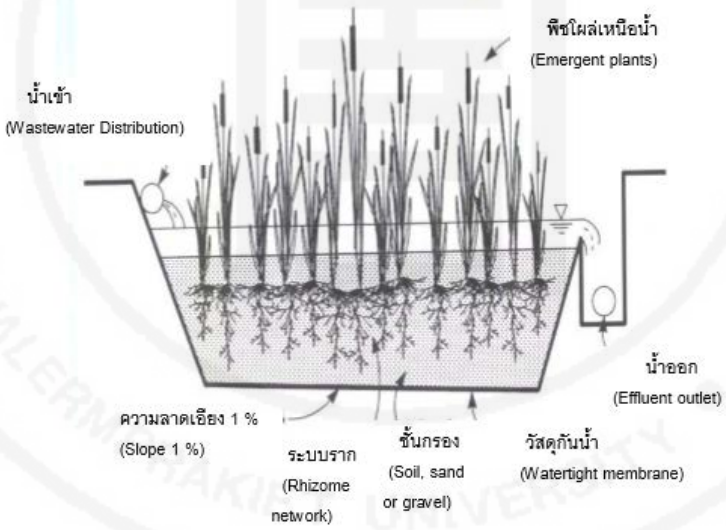
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland for Wastewater Treatment) คือระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นให้คล้ายพื้นที่ชุ่มน้ำในธรรมชาติเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียให้เป็นน้ำทิ้งที่ได้มาตรฐานตามที่กฎหมายทางสิ่งแวดล้อมกำหนด ซึ่งรูปร่างของระบบบึงประดิษฐ์จะมีลักษณะเป็นแอ่งหรือบึงที่มีน้ำขังซึ่งประกอบด้วย พืช วัสดุตัวกลางจำพวก ดิน หิน หรือกรวด และจุลินทรีย์ที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมมาช่วยในการบำบัดน้ำเสียและช่วยปรับสภาพน้ำเสียให้มีคุณภาพดีขึ้นโดยไม่ต้องใช้สารเคมีและเทคโนโลยีเครื่องจักรกลต่าง ๆ เช่น เครื่อง เติมอากาศ เป็นการลดค่าใช้จ่ายและง่ายในการควบคุมระบบไม่ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านในการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยหลักการทำงานเริ่มจากเมื่อน้ำเสียจากแหล่งน้ำเสียไหลผ่านท่อเข้าระบบ โดยที่น้ำเสียอาจจะไหลบนผิวดินหรือผ่านลงชั้นกรวด น้ำเสียที่ผ่านเข้ามาบางส่วนจะตกตะกอนลงสู่ก้นบ่อ และถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำจะไหลผ่านชั้นพืช หรือชั้นกรวดที่มีแบคทีเรียเกาะอยู่ แบคทีเรียเหล่านี้ทำหน้าที่ในการย่อยสลายอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ ระบบ บึงประดิษฐ์ได้รับออกซิเจน จากการที่อากาศแทรกผ่านผิวน้ำหรือชั้นหิน และออกซิเจนบางส่วน จากการ สังเคราะห์แสงของพืช นอกจากนี้ กระบวนการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน ยังช่วยลดปริมาณไนโตรเจน ส่วนการลดปริมาณฟอสฟอรัสส่วนใหญ่เกิดที่ชั้นดิน พื้นบ่อ และ พื้นน้ำ ซึ่งพืชช่วยดูดซับฟอสฟอรัสผ่านทางรากและนำไปใช้ในการสร้างเซลล์

บึงประดิษฐ์สามารถลดค่าบีโอดี กำจัดสารแขวนลอย โลหะหนัก และเชื้อโรคจากน้ำเสียหลายชนิดได้ในปริมาณสูง โดยมีกลไกการบำบัด 3 กระบวนการ คือ กระบวนการทางกายภาพ ได้แก่ การ ตกตะกอน ซึ่งตะกอนแขวนลอยจะถูกดักโดยพืชเป็นส่วนใหญ่ วิธีการนี้สามารถกำจัดสารแขวนลอย สารอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส กระบวนการทางเคมี ได้แก่ การดูดซับ การแลกเปลี่ยนไอออนบนผิวของพืชและการตกตะกอน ทางเคมี และกระบวนการทางชีวภาพ ได้แก่ การย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์โดยจุลินทรีย์และโดยเกิดการกินกันเองของจุลินทรีย์ต่างๆ (ปัญจ์ปพัชร ภร บุญพร้อม, 2554)

2.2 รูปแบบระบบบึงประดิษฐ์

1) บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (Free Water Surface Systems: FWS)

ระบบนี้โดยทั่วไปจะประกอบด้วยแอ่งหรือร่องน้ำ ที่มีการเคลือบหรือฉาบวัสดุกัน น้ำที่ทำจากดินเหนียวหรือจากวัสดุทางด้านธรณีวิทยาอื่น ๆ ทั้งที่สร้างขึ้นหรือมีอยู่ตามธรรมชาติบนพื้นบ่อเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำ และประกอบไปด้วยดินและวัสดุตัวกรองต่าง ๆ ที่จะทำให้รากพืชสามารถยึดเกาะอยู่ได้ โดยน้ำที่ความลึกระดับหนึ่งจะไหลอยู่เหนือผิวดินหรือชั้นกรอง ถ้าการกระจายน้ำเข้าสู่ระบบเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบึงประดิษฐ์ที่มีพื้นที่แคบ ยาว และมีระดับความลึกของน้ำในบ่อไม่มากนัก ประกอบกับน้ำมีการไหลอย่างช้าๆ ผ่านกิ่งก้านของพืชที่แผ่กระจายอยู่ทั่วไปในระบบ จะทำให้เกิดการไหลของน้ำแบบไหลตามกัน (Plug-Flow) ขึ้นซึ่งจะช่วยทำให้ปัญหาการไหลลัดวงจรของระบบลดลงได้ (**ภาพที่ 2.2-1**)

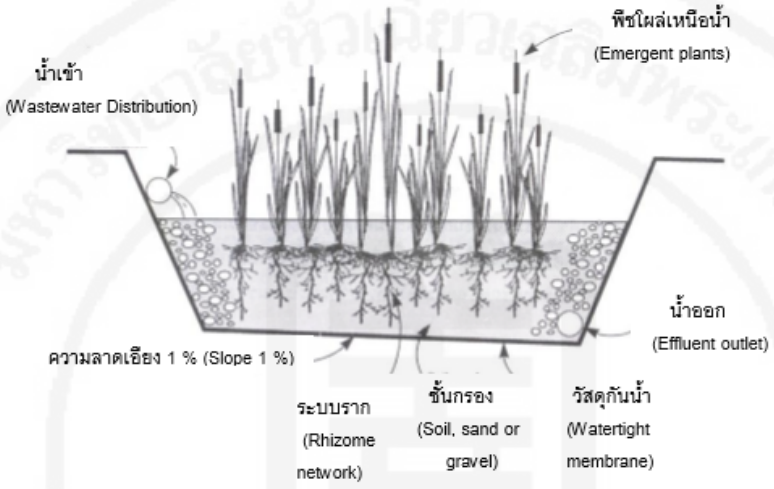


ภาพที่ 2.2-1 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (Free Water Surface Systems: FWS) จาก *โครงการพัฒนาแนวทางด้านเทคนิคและสาธิตระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์*, โดย กรมควบคุมมลพิษ, 2547, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

2) บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (Subsurface Flow Systems: SF)

ระบบนี้โดยทั่วไปประกอบด้วยร่องยาวหรือพื้นดิน ที่เคลือบหรือฉาบด้วยวัสดุกัน น้ำไว้ด้านล่างเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำ และตัวกรองเพื่อช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะ และพืชเจริญเติบโตได้ ตัวกรองที่ใช้อาจเป็นหินบด (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-15 ซม.) กรวดและดินชนิดต่าง ๆ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน การที่น้ำเสียไหลผ่านด้านข้างของตัวกรองจะทำให้น้ำเสีย ถูก

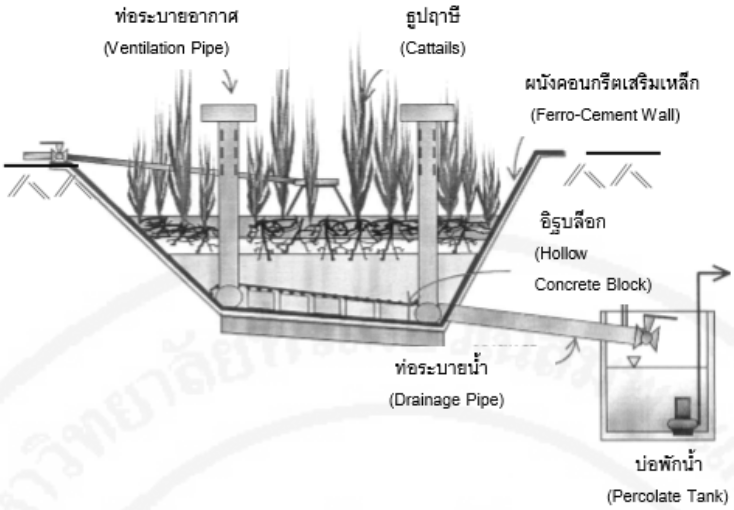
บำบัดในระหว่างสัมผัสกับผิวหน้าของตัวกรองและส่วนรากของพืช บริเวณใต้ชั้นกรองจะอิ่มตัวด้วยน้ำอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic) ขึ้น อย่างไรก็ตาม พืชยังสามารถดึงออกซิเจนเข้าไปยังส่วนรากซึ่งทำให้จุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศ (Aerobic Microsites) สามารถเจริญเติบโตในส่วนรากและไรโซมของพืชได้ ระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่ภาระสารอินทรีย์ปานกลาง (**ภาพที่ 2.2-2**)



ภาพที่ 2.2-2 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (Subsurface Flow Systems: SF) จาก โครงการพัฒนาแนวทางด้านเทคนิคและสาธิตระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์, โดย กรมควบคุมมลพิษ, 2547, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

3) บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง (Vertical Flow: VF)

บึงประดิษฐ์ประเภทนี้จะมีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกันกับบึงประดิษฐ์ประเภทที่ 1 และ 2 คือ ประกอบไปด้วยตัวกรองเพื่อช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะและเจริญเติบโตได้ ตัวกรองที่ใช้อาจเป็นหิน กรวด และทราย อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน น้ำเสียจะไหลผ่านชั้นกรองในแนวดิ่ง โดยมีระบบการระบายน้ำอยู่ใต้ชั้นกรอง (Underdrain System) และบึงประดิษฐ์ประเภทนี้ยังมีระบบระบายอากาศ (Ventilation System) เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้มีสภาวะไร้อากาศเกิดขึ้นในส่วนรากของพืช และพื้นที่ว่างเหนือจากบริเวณผิวหน้าชั้นกรองขึ้นไปจะใช้เป็นที่สะสมกากตะกอนของเสียที่ถูกรีดน้ำออกแล้ว ระบบนี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีภาระสารอินทรีย์สูง ๆ ได้ (**ภาพที่ 2.2-3**)



ภาพที่ 2.2-3 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง (Vertical Flow: VF) จาก โครงการพัฒนาแนวทางด้านเทคนิคและสาธิตระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์, โดย กรมควบคุมมลพิษ, 2547, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

2.3 รูปแบบการไหลของน้ำในบึงประดิษฐ์

1) การไหลแบบตามกัน (Plug-Flow)

การไหลแบบตามกัน ปัจจุบันใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน การไหลแบบนี้นิยมใช้กับระบบบึงประดิษฐ์ขนาดเล็กและมีความเข้มข้นของภาระสารอินทรีย์ไม่มากนัก

ข้อดีของการไหลแบบตามกัน คือ มีค่าก่อสร้างต่ำ ใช้พลังงานน้อยและต้องการการควบคุมดูแลรักษาค่อนข้างต่ำ

ข้อจำกัดของการไหลแบบตามกัน คือ ไม่เหมาะที่จะใช้กับบึงประดิษฐ์ที่มีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง และมีค่าความยาวต่อความกว้าง มากกว่า 10 : 1

2) การเติมน้ำเสียแบบเป็นขั้น (Step Feed)

การเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบแบบเป็นขั้น จะมีผลในการกำจัดของแข็งได้ดีเมื่อเป็นระบบไหลตามแนวดิ่ง และรับน้ำออกบริเวณด้านล่างของบ่อ การเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบแบบเป็นขั้นนี้สามารถทำควบคู่ไปกับการสูบน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับเข้าสู่ระบบ (Recirculation) การเติมน้ำเสียแบบนี้นิยมใช้กับระบบบึงประดิษฐ์ที่มี ความยาวต่อความกว้างมากกว่า 10 : 1

ข้อดีของการไหลแบบเป็นขั้น คือ น้ำเสียที่เข้าระบบมีการกระจายอย่างทั่วถึงบน ระบบบึงประดิษฐ์ และมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าการไหลแบบแรก

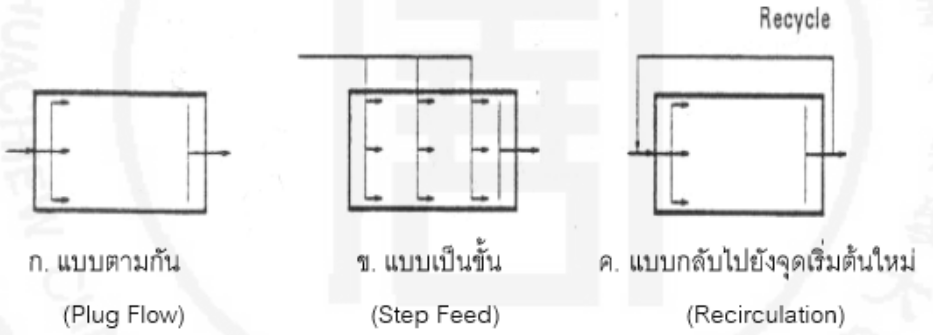
ข้อจำกัดของการไหลแบบเป็นขั้น คือ รูปแบบการไหลแบบนี้ต้องการงบประมาณ ในการก่อสร้างสูง เพราะต้องมีการติดตั้งระบบท่อ ระบบควบคุมการจ่ายน้ำมากกว่าการไหลแบบแรก

3) การหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ (Recirculation)

การสูบน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับไปยังจุดเริ่มต้นใหม่ กำลังได้รับความสนใจและมีแนวโน้มที่จะมีการลงทุนก่อสร้างมากขึ้น เป็นระบบที่มีการเวียน น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับเข้าสู่ระบบใหม่ การสูบน้ำบำบัดแล้วกลับไปยังระบบ อีกครั้งจะช่วยเจือจางปริมาณสารอินทรีย์และของแข็งแขวนลอยที่เข้ามาในระบบ และเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด

ข้อดีของการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ คือ สามารถช่วยลดปัญหาเรื่องกลิ่น ช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และช่วยทำให้ระบบมีระยะเวลากักเก็บน้ำมากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการกำจัดไนโตรเจนตามมา

ข้อจำกัดของการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ คือ มีค่าใช้จ่ายสูงในการก่อสร้าง และการดูแลรักษาระบบ ตลอดจนต้องควบคุมปริมาณน้ำที่ต้องสูบกลับ เพื่อควบคุม ปริมาณและระยะพักน้ำที่เข้าระบบ (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2547)



ภาพที่ 2.3-1 รูปแบบการไหลของน้ำในบึงประดิษฐ์ จาก *โครงการพัฒนาแนวทางด้านเทคนิคและสาธิตระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์*, โดย กรมควบคุมมลพิษ, 2547, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

2.4 การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

การออกแบบระบบบึงประดิษฐ์เพื่อการบำบัดน้ำเสียจะมีขั้นตอนหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

1) พิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่จะเลือกใช้เพื่อการบำบัดน้ำเสีย

2) ศึกษาหาว่าจะต้องมีระบบบำบัดน้ำเสีย ขั้นแรกหรือขั้นที่สองก่อนที่จะนำเข้าสู่ระบบนี้

3) ทำการเลือกชนิดของพืชที่จะปลูกในบึง ประดิษฐ์นี้

4) ศึกษาหาค่าการออกแบบระบบ

5) ทำการศึกษาระบบควบคุมแมลงต่าง ๆ ใน บึงประดิษฐ์

6) ออกแบบรายละเอียดในระบบ

ข้อมูลที่ควรทราบเกี่ยวกับระบบบึงประดิษฐ์สำหรับการบำบัดน้ำเสีย แสดงไว้ใน**ตารางที่ 2.4-1**

ตารางที่ 2.4-1 ข้อมูลที่ควรทราบเกี่ยวกับบึงประดิษฐ์

ข้อมูลที่ควรทราบ	รายละเอียด
1. ชนิดของชั้นดิน	ควรเป็นดินประเภทที่ให้น้ำไหลซึมลงดินได้ช้า
2. เทคนิคการกระจายน้ำเสีย	ใช้หัวกระจายน้ำเสียหรือท่อ เจาะรูด้านข้างเพื่อกระจายน้ำเสีย
3. ภาระปริมาณน้ำเสีย	5-18 ม./ปี
4. ขนาดพื้นที่ที่ต้องการ	20-66 ตร.ม./ลบ.ม.-วัน)
5. ความต้องการพืชบนพื้นที่จำกัด	ต้องการพืชปลูกบนพื้นที่ลาดเอียง
6. ความต้องการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น	ควรมีระบบตกตะกอนขั้นต้น ก่อนปล่อยลงบนพื้นที่ และ อาจเติมอากาศเล็กน้อยลงในน้ำเสียก่อนปล่อยเข้าบึงประดิษฐ์ แต่ไม่ควรมีระบบสาหร่ายเข้าระบบบึง
7. ความลาดของพื้นที่บำบัด	น้อยกว่า 5%
8. การเก็บเกี่ยวพืชน้ำ	ไม่จำเป็นต้องทำ
9. การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสีย	จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ปริมาณ C/N ว่ามีเพียงพอ หรือไม่ โดยทั่วไปควรมีมากกว่า 2 ต่อ 1 จึงจะสามารถกำจัดสารไนโตรเจนได้
10. ค่าอัตราการถ่ายเทของ ออกซิเจนเข้าระบบ	เมื่อเป็นพืชที่จุ่มในน้ำจะมีปริมาณ 5-45 กรัม O_2/ตร.ม.-วัน)
11. ระบบป้องกันน้ำท่วม	ควรมีระบบป้องกันน้ำท่วมสำหรับบึงประดิษฐ์

ที่มา: (ปัญจ์ปพัชรภร บุญพร้อม, 2554)

2.5 พืชที่ใช้ในระบบบึงประดิษฐ์

หน้าที่หลักของพืชในระบบบึงประดิษฐ์ คือ การควบคุมการไหลของน้ำเสีย เป็นที่ยึดเกาะและเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายในระบบ พืชถือว่าเป็นองค์ประกอบหลักของระบบบึงประดิษฐ์ ดังนั้น การเลือกพืชที่จะใช้ในระบบจึงเป็นสิ่งสำคัญ ปกติแล้วพันธุ์ของพืชที่จะปลูกในระบบบึงประดิษฐ์ ควรเป็นพืชที่สามารถพบได้ในท้องถิ่น เพราะพืชจะคุ้นเคยกับสภาพภูมิอากาศและพื้นที่ในบริเวณนั้นจึงสามารถเจริญเติบโตได้ดี อย่างไรก็ตามลักษณะของน้ำเสียที่จะใช้บำบัดก็เป็นสิ่งที่ต้อง

คำนึงถึง เช่น พืชที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอาหารสูง ๆ เช่น สิ่งปฏิกูล หรือ น้ำเสียจากการเกษตร

1) คุณสมบัติของพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

1.1) สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดีในท้องถิ่นนั้น ๆ นอกจากนี้ยังต้องสามารถปรับตัว ได้ดีในสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

1.2) มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง

1.3) มีความสามารถส่งผ่านออกซิเจนได้สูง โดยนำออกซิเจนจากบรรยากาศส่งผ่านมาตาม ใบ รากและลำต้น

1.4) สามารถทนต่อความเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของสารพิษได้ค่อนข้างกว้างขวาง

1.5) มีความสามารถในการดูดซึมและเก็บสะสมสารต่างๆ ได้ดี

1.6) มีความคงทนต่อโรคและแมลงได้ดี

1.7) สามารถนำออกจากระบบได้ง่าย เนื่องจากพืชจะลดปริมาณสารที่อยู่ในน้ำเสียได้ผลดี ที่สุดนั้นพืชจะต้องมีการนำออกจากระบบบ้างเพื่อไม่ให้พืชอยู่นานจนเกินไปจนระบบขาดประสิทธิภาพ

2) การแบ่งชนิดพันธุ์พืช

2.1) พืชใต้น้ำ (Submerged Plant) เป็นพวกที่มีการเจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำทั้งหมด โดยอาจมีรากยึดเกาะกับพืชน้ำใต้น้ำหรือไม่ยึดเกาะก็ได้ บางชนิดรากยึดเกาะกับพื้นดินใต้น้ำส่วนลำต้นและใบเจริญอยู่ใต้ระดับน้ำบางครั้งพืชพวกนี้จะส่งดอกขึ้นมาเจริญที่ผิวน้ำหรือเหนือน้ำและเมื่อเป็นผลแล้วบางอย่างเจริญที่ผิวน้ำหรือใต้ดิน เช่น สาหร่ายหาง กระรอก สาหร่ายพุงชะโด เป็นต้น

2.2) พืชโผล่พ้นน้ำ (Emerged Plants) เป็นพวกที่มีการเจริญเติบโต อยู่ใต้น้ำบางส่วนและเหนือน้ำบางส่วน โดยที่มีรากหรือทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำแล้ว ส่งส่วนใบและดอกขึ้น มาเจริญเหนือน้ำเช่น บัวต่าง ๆ กกบางชนิด ต้นเทียนนา ธูปฤาษี เป็นต้น

2.3) พืชลอยน้ำ (Floating Plants) เป็นพวกที่เจริญลอยอยู่ในระดับน้ำโดยมีรากห้อยลอยอยู่ในน้ำส่วนต้น ใบ และดอก เจริญที่เหนือน้ำ พรรณไม้น้ำ ประเภทนี้บางอย่าง ถ้าน้ำตื้น รากจะหยั่งพื้นดินใต้น้ำก็ได้ พืชลอยน้ำส่วนใหญ่มักจะมีส่วนหนึ่งส่วนใดเปลี่ยนไปเป็นทุ่นเพื่อพยุงลำต้นให้ลอยน้ำได้ เช่น ผักตบชวา ผักบุ้ง เป็นต้น

2.4) พืชชายน้ำ (Marginal Plants) มักขึ้นอยู่ตามชายน้ำริมตลิ่ง ชายคลอง หนองน้ำ หรือทะเลสาบ มีรากหรือรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดิน ส่งบางส่วนของต้น ใบ และดอกเหนือน้ำ พืชน้ำประเภทนี้ใกล้เคียงกับพืชพวกโผล่เหนือน้ำมาก เช่น ต้นผักตบไทย ต้นโสน และกก (ฉัตรชัย ยาทะเล, 2554)

2.6 การใช้พืชบำบัด

ไฟโตรีเมดดิเอชัน (phytoremediation) เป็นกระบวนการที่ใช้พืช เพื่อกำจัดความเป็นพิษของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม โดยมีกลไกในต้นพืชเป็น 2 รูปแบบได้แก่ 1) การดูดสะสมแล้วเคลื่อนย้ายเพื่อนำไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืช และ 2) การดูดสะสมแล้วเคลื่อนย้ายเพื่อนำไปย่อยสลาย ซึ่งประกอบด้วย 5 กระบวนการหลักดังนี้

1) กระบวนการไฟโตแอกคิวมูเลชัน (phytoaccumulation) หรือไฟโตแอกแทรกชัน (phytoextraction) เป็นกระบวนการที่พืชดูดสะสมสารพิษจากดินและน้ำที่ปนเปื้อนแล้วลำเลียงเคลื่อนย้ายเข้าสู่ลำต้นพืชและสะสมในส่วนต่าง ๆ เช่น หัว ราก ลำต้น ใบ โดยจะไม่มีกลไกการย่อยสลายสารพิษ พืชที่ผ่านการบำบัดอาจถูกสกัดเอาโลหะหนักที่ดูดสะสมออกมาก่อน หรือนำไปฝังกลบอย่างปลอดภัย

2) กระบวนการไฟโตดีกราเดชัน (phyto-degradation) หรือไฟโตทรานฟอร์เมชัน (phyto-transformation) เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปหรือการย่อยสลายสารมลพิษผ่านทางวิถีเมเทบอลิซึมจนมีพิษน้อยลงหรือไม่มีเลย โดยจะเปลี่ยนรูปเป็นสารตัวกลางอื่นหรือสารผลิตภัณฑ์อื่น เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อตัวพืชเอง เกิดจากกระบวนการทางชีวภาพ เช่น การเกิดปฏิกิริยาคอนจูเกชัน (conjugation reaction)

3) กระบวนการไฟโตโวลลาทีไลเซชัน (phyto-volatilization) เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนรูปสารพิษให้เป็นสารระเหยได้ที่มีความเป็นพิษน้อยลง และปล่อยออกไปจากต้นพืชผ่านทางปากใบ

4) กระบวนการไฟโตสเตบิไลเซชัน (phytostabilization) เป็นกระบวนการสร้างความเสถียรไม่ให้สารพิษแพร่กระจายออกไป โดยทำให้เกิดการตกตะกอน หรือลดการละลายน้ำลง ซึ่งเกิดขึ้นโดยการปล่อยสารบางชนิดออกมาจากรากพืช

5) กระบวนการเพลทแอสซิสไบโอรีเมดดิเอชัน (plant–assisted bioremediation) เป็นกระบวนการเร่งการย่อยสลายที่พืชทำงานร่วมกับจุลินทรีย์ในดินโดยแบ่งเป็น 2 กระบวนการย่อยคือ ไรโซฟิวเทรชัน (rhizofiltration) และไรโซสติวมูเลชัน (rhizostimulation) กลไกที่เกิดขึ้นได้แก่ พืชจะปล่อยของเหลวที่เรียกว่า แอคซูเดต (exudates) ซึ่ง ประกอบด้วย กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน น้ำตาล และเมือก เพื่อช่วยปรับสภาพให้เหมาะสมแก่การดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ จุลินทรีย์จะช่วยย่อยสลาย สารพิษที่เป็นอันตรายต่อพืช รวมทั้งช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อโรค และวัชพืชต่าง ๆ สร้างความเสถียรแก่ โครงสร้างดินบริเวณโดยรอบรากพืช กระบวนการไรโซฟิวเทรชัน เมื่อมีการดูดสะสมสารพิษเข้าไป จะเกิดการกรองโดยพืชและจุลินทรีย์ที่ปมรากพืชซึ่งอยู่ในน้ำเป็นการบำบัดสารพิษที่ปนเปื้อนในน้ำและกระบวนการ ไรโซสติวมูเลชัน คือ กระบวนการที่แบคทีเรียกลุ่ม พีจีพีอาร์ (PGPR; plant growth promoting rhizobacteria) เข้าไปกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช โดยแบคทีเรียจะอาศัยบริเวณรากพืช ซึ่งจะทำ

ให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ทนทานต่อความแห้งแล้งและโรคพืชรวมทั้งช่วยย่อยสลายสารพิษที่ปนเปื้อนดินบริเวณโดยรอบ (จอมจันทร์ นทีวัฒนา, 2557)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการบำบัดน้ำเสียมีการนำเอาบึงประดิษฐ์มาใช้อย่างแพร่หลาย ซึ่งบึงประดิษฐ์สามารถบำบัดน้ำเสียได้หลายคุณลักษณะ เช่น งานวิจัยของพัณณ์ชิตา ปิงชัย และ ศุวศา กานตวนิชกูร (2554) ศึกษาการกำจัดโครเมียมโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง โดยเปรียบเทียบการกำจัดโครเมียมด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ความเข้มข้นกันในช่วง 5 - 20 mg Cr/L แบบจำลองระบบบึงประดิษฐ์ ทำด้วยบ่อคอนกรีตทรงกระบอก จำนวน 4 บ่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบ่อ 0.80 ม.และสูง 0.75 ม. ปลูกด้วยต้นกกลังกา (*Cyperus alternifolius* L.) ทั้ง 4 บ่อ โดยน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ผสมกับสารเคมีโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) จนได้ความเข้มข้นของโครเมียมที่ต้องการ คือ 5, 10, 15, 20 mg Cr/L ในแต่ละบ่อ การสูบน้ำเข้าระบบจะทำการสูบ 1 ชม.หยุดพัก 1 ชม. สลับกัน มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 6 ซม./วัน การทดลองแรกคือ แบบไม่ขังน้ำภายในบ่อและการทดลองที่สองคือ แบบขังน้ำในบ่อด้วยการยกท่อน้ำออกให้สูงขึ้นเท่ากับความสูงของตัวกลางในบ่อ ผลการทดลองพบว่า การทดลองที่สองแบบขังน้ำในบ่อมีประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมได้ดีที่สุด คือ ร้อยละ 95.7, 95.7, 93.6 และ 92.0 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD, BOD และ SS สูงกว่าการทดลองที่หนึ่ง คือร้อยละ 88.1, 84.0 และ 89.8 แต่การทดลองแรกแบบไม่ขังน้ำในบ่อ มีประสิทธิภาพในการบำบัด TKN และ NH_4^+- N สูงกว่าแบบที่สอง คือมีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 62.0 และ 73.6 ตามลำดับ ส่วนงานวิจัยของเจริญ อุดมการ และคณะ (2540) ศึกษาประสิทธิภาพบ่อบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติและการสะสมโลหะหนักในเนื้อปลา บริเวณคูหมากเสื่อ จังหวัดสกลนคร มีทั้งหมด 2 ระบบ คือระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งและแบบพืชน้ำพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ระบบ มีประสิทธิภาพในการบัดของเสียชนิดต่าง ๆ แตกต่างกันดังนี้คือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียดีกว่าระบบบำบัดด้วยพืชน้ำต่อพารามิเตอร์ดังนี้ ฟอสฟอรัสทั้งหมด บีโอดี ซีโอดี และไนโตรเจนทั้งหมด ด้วยประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นร้อยละ 27.87-95.39, 3.74-89.53, 4.89-87.06 และ 9.43-92.14 ตามลำดับ โดยระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพืชน้ำมีประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียดีกว่าระบบบำบัดแบบบ่อผึ่ง ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการของแข็งละลายในน้ำ ของแข็งแขวนลอย และความนำไฟฟ้า อยู่ในช่วง ร้อยละ 3.99-81.21, 9.52-85.71, และ 0.00-48.35 ตามลำดับ ในปัจจุบันได้มีราษฎรลงจับปลาและปล่อยสัตว์เลี้ยงลงไปในบ่อบำบัดน้ำเสีย ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง ส่วนการตรวจการสะสมโลหะหนักในเนื้อปลาที่เก็บตัวอย่างมาจากบ่อบำบัดน้ำเสียพบว่าปริมาณสารปรอท แคดเมียม และตะกั่ว มีค่าเฉลี่ย 0.012, 0.046, 0.507 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ตามลำดับ ซึ่งปริมาณโลหะหนักดังกล่าวที่สะสมในเนื้อปลามีปริมาณที่ไม่เกินมาตรฐานที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุขกำหนดไว้

โดยการออกแบบบึงประดิษฐ์ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับพื้นที่และการนำไปใช้ โดยมีการศึกษารูปแบบและชนิดพืชที่นำมาใช้ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เช่น งานวิจัยของ ฉัตรชัย ยาทะเล (2554) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนแบบระบบบึงประดิษฐ์ ด้วยพุทธรักษาและตาลปัตรฤาษี กรณีศึกษา : ชุมชนแม่หรั่งงอกงาม อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี โดยจัดทำบ่อทดลองขนาดกว้าง 0.5 เมตร ยาว 2 เมตร ลึก 0.6 เมตร จำนวน 2 บ่อ บ่อที่ 1 ทดลองด้วยการปลูกพืช พุทธรักษากับตาลปัตรฤาษี บ่อที่ 2 เป็นบ่อควบคุมที่ไม่ปลูกพืช ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าบีโอดี ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ผลการวิจัยพบว่า บ่อทดลองที่ปลูกพืช พุทธรักษากับตาลปัตรฤาษีมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนสูงกว่าบ่อควบคุมที่ไม่ปลูกพืช พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เท่ากับร้อยละ 56.57, 53.33, 60.00 และ 60.00 ตามลำดับ ส่วนงานวิจัยของ สุชาดา ศรีเพ็ญ และคณะ (2543) ศึกษาชนิดพืชบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชนจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี โดยทดลองในแปลงทดลองมีขนาดพื้นที่กว้าง 5 เมตร ยาว 15 เมตร จำนวน 30 แปลง เริ่มให้น้ำเสียภายหลังจากปลูกพืชได้ 3 เดือนหลังปลูกจนเสร็จสิ้น ชนิดพืชที่ใช้ปลูกมี 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) พืชทั่วไป 18 ชนิด ได้แก่ แฝกอินเดีย แฝกบราซิล แฝกศรีลังกา แฝกราชบุรี แฝกอินโดนีเซีย ปรงทองปรงไข่ หญ้านวลน้อย ตะไคร้หอม คูน (ออกดิบ) บัวหลวง อะเมซอน กกกลม กกสามเหลี่ยม ธูปฤาษีเล็ก ธูปฤาษีใหญ่ กกสามเหลี่ยมแห้วกระดาน กระจูด และธรรมรักษา 2) กลุ่มพืชอาหารสัตว์ 13 ชนิด ได้แก่ หญ้าขน หญ้ารูซี หญ้าเนเปียร์ (*Pennisetum purpureum*) หญ้าเนเปียร์ (สายพันธุ์ tanganshian) หญ้าโคสครอส หญ้ากินนี หญ้าเนเปียร์แคระ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลลา โสนอัฟริกัน กระถิน ถั่วเซ็นโตร และถั่วเซอราโตร โดยผลการศึกษาพบว่า พืชทุกชนิดที่มีการเจริญเติบโตดีหลังจากให้น้ำเสีย แต่การเจริญเติบโตของพืชมีความแตกต่างกันบ้างเนื่องจากสภาพความเหมาะสมในแต่ละแปลงมีความต่างกัน และขึ้นกับความสามารถของชนิดพืชด้วยเช่นกัน พบการออกดอกในแปลง ธรรมรักษา อะเมซอน กกกลม กกสามเหลี่ยม ธูปฤาษีทั้งต้นเล็กและต้นใหญ่ แฝกทุกพันธุ์ แต่ในแฝกราชบุรีมีการออกดอกน้อยกว่าพันธุ์อื่นๆ การเจริญเติบโตของต้นและรากในแปลงแฝก พบว่า พันธุ์อินโดนีเซียดีที่สุดรองลงมาคือพันธุ์ศรีลังกา บราซิลและราชบุรีตามลำดับ และยังศึกษาการเกิดใบใหม่หลังจากที่มีการตัดต้นทิ้งเหลือกอ พบว่า แฝกอินโดนีเซียและศรีลังกามีการเกิดใบอย่างสม่ำเสมอทั่วแปลงดีกว่าแฝกอินเดีย บราซิลและราชบุรี ปรงทองและปรงไข่มีการเจริญเติบโตดีแต่ไม่สม่ำเสมอตลอดแปลง หญ้านวลน้อยมีการเจริญเติบโตดีในแนวดิ่ง และไม่แผ่ราบในแนวนอน ตะไคร้หอมมีการเจริญเติบโตดีในที่ไม่เป็นน้ำขัง แต่แสดงอาการใบแห้งรอบกอในที่ที่ดินแห้ง กกสามเหลี่ยมแห้วกระดานอยู่ในระหว่างตั้งตัว กระจูดส่วนใหญ่เจริญเติบโตไม่ค่อยดีเนื่องจากมี

น้ำในแปลงไม่เพียงพอ ธรรมรักษามีการเจริญเติบโตดี แต่มีขอบใบม้วนและพบการออกดอกตลอดแปลง อะเมซอนมีการเจริญเติบโตของกอดีในที่ที่มีน้ำแช่ขังมีขนาดต้นใหญ่กว่าในที่มีน้ำน้อยแต่มีการออกดอกตลอดแปลง กกกลมมีการเจริญเติบโตและออกดอกในที่มีน้ำมากดีกว่าในที่ที่มีน้ำน้อย ส่วนกกสามเหลี่ยม ธูปฤาษีทั้งสองแปลง มีการเจริญเติบโตดีและออก ดอกตลอดแปลงถึงแม้ว่าบางพื้นที่เป็นดินแห้ง และนอกจากนี้ยังได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโดยใช้ ต้นกกกลม (*Cyperus Corymbosus* Rottb) และธูปฤาษี (*Typha angustifolia* Linn.) ทำการปลูกพืชในแปลงทดลอง ขนาด 5X25 เมตร ตรวจสอบอัตราการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้ รวมทั้งวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่พืชช่วยดูดซับไปจากน้ำเสียด้วย จากการทดลองพบว่าพืชทั้งสองชนิดมีการเจริญเติบโตได้ดีมาก โดยที่กกกลมเมื่อมีอายุได้ 6 สัปดาห์จะเริ่มออกดอกและจะออกดอกทั้งแปลงในเวลา 6-7 สัปดาห์ ส่วนธูปฤาษีเริ่มออกดอกเมื่ออายุได้ 8 สัปดาห์ และออกดอกเต็มที่ในเวลา 8-10 สัปดาห์ สำหรับประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักพบว่า ทั้งกกกลมและธูปฤาษีดูดซับได้ใกล้เคียงกัน ยกเว้นส่วนรากของธูปฤาษีสามารถดูดซับ ทองแดงและสังกะสีได้ดีกว่าส่วนรากของกกกลม นอกจากนี้ทั้งส่วนรากและส่วนต้นของกกกลมสามารถดูดซับปรอท แคดเมียมและตะกั่วได้ดีกว่าส่วนรากและส่วนต้นของธูปฤาษี ส่วนความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารของธูปฤาษี พบว่าทั้งส่วนรากและส่วนต้นสามารถดูดซับ โพแทสเซียมได้ดีกว่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ตามลำดับ ทั้งนี้ส่วนรากดูดซับทองแดงและสังกะสีได้ดีกว่าส่วนต้น สำหรับโลหะหนักนั้นส่วนต้นดูดซับปรอทได้ดีกว่าส่วนรากถึงสามเท่า ส่วนแคดเมียมและตะกั่วนั้นทั้งส่วนรากและส่วนต้นดูดซับได้ใกล้เคียงกัน อายุพืชที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวผลผลิต กกกลม (45 วัน) ธูปฤาษี (90 วัน) สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ และสมศักดิ์ เจริญวัย (2543) ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมชั้นกรองอย่างอิสระ ระหว่าง กกกลม และธูปฤาษี และศึกษาขนาดของแปลงที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ แปลงขนาด 5x25, 5x100 เมตร จากการศึกษาแปลงธูปฤาษี พบว่าแนวโน้มประสิทธิภาพการบำบัดของแปลงยาว 100 เมตร จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเล็กน้อย และแปลงยาว 100 เมตร สามารถรับน้ำเสียได้มากกว่าแปลง 25 เมตร ศักยภาพรับน้ำสูงสุดของแปลงยาว 100 เมตร เป็น 61 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน สามารถรองรับประชากรได้ 305 คน (คิดอัตราการใช้น้ำเฉลี่ย 200 ลิตรต่อคนต่อวัน) ในขณะที่แปลงยาว 25 เมตร สามารถรองรับปริมาณน้ำเสียได้ 20 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน สามารถรองรับประชากรได้ 100 คน สำหรับกกกลมก็เช่นเดียวกันกับธูปฤาษี คือประสิทธิภาพการบำบัดมีแนวโน้มสูงในแปลง 100 เมตร แต่ทั้งสองลักษณะก็สามารถบำบัดน้ำเสียได้ จุดที่น่าสังเกตของแปลงยาว 100 เมตร คือ มีอายุพืช 9 สัปดาห์ ประสิทธิภาพจะลดลงเล็กน้อย ทั้งแปลงกกกลม และธูปฤาษี ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการที่ซากพืชต้นเดิมที่ได้ตัดไว้ต่ำกว่าเริ่มต้น เกิดการย่อยสลาย เช่น การเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในแปลงทำให้ประสิทธิภาพลดลงเล็กน้อย และจากข้อมูลนี้อาจเป็นการยืนยันได้ว่า จำเป็นต้องมีการจัดการพืชเมื่อพืชเริ่มแก่ตามอายุพืช มิฉะนั้นจะเป็นการ

สร้างปัญหามากกว่าการแก้ปัญหา การจัดการพืชด้วยการตัดออกจากแนวแปลงตามอายุพืช เฉลี่ยที่เหมาะสมคือ 45 วัน (กกกลม) และ 90 วัน (ธูปฤาษี) และศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนระหว่างพืชตระกูลหญ้าเลี้ยงสัตว์ ได้ แก่ หญ้าสตาร์ โคสครอส และคาลลา กับพืชน้ำ ได้แก่ กกกลม และธูปฤาษี รวมถึงศึกษาเปรียบเทียบระหว่างลักษณะการให้น้ำเสีย 2 ลักษณะ คือ แบบน้ำขัง 5 วัน ระบายออกให้แห้ง 2 วัน กับลักษณะการให้น้ำเสียแบบไหลต่อเนื่อง และศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบำบัดที่ผิวดินกับบำบัดที่ใต้ดิน จากการทดลองพบว่า ในการเดินระบบแบบน้ำขัง มีประสิทธิภาพต่ำกว่าการปล่อยให้น้ำเสียไหลต่อเนื่อง และการบำบัดใต้ผิวดินมีประสิทธิภาพสูงกว่าน้ำผิวดินเล็กน้อย เมื่อพิจารณาที่ระดับผิวดินแปลงหญ้าโคสครอสจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดและสำหรับน้ำใต้ดินแปลงหญ้าสตาร์จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด สำหรับแปลงพืชน้ำ กกกลมจะมีประสิทธิภาพดีกว่าธูปฤาษีเล็กน้อย ทั้งใต้ดินและผิวดิน สำหรับธูปฤาษีการบบัดจะไม่ได้ผลในช่วงท้ายๆ เพราะมีการย่อยสลายซากพืชปะปนมาด้วย กล่าวโดยสรุป กกกลมมีประสิทธิภาพการบำบัดในภาพรวมดีกว่าธูปฤาษี พูลศิริ กิจวรรณ และ สุรัสวดี บุบผะเรณู (2543) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยวิธีหญ้ากรองน้ำเสีย โดยทำการปลูกพืชแปลงละชนิด คือ กกกลม หญ้าแฝกพันธุ์อินโดนีเซีย หญ้าแฝกพันธุ์ศรีลังกา หญ้าคาลลา หญ้าโคสครอส และหญ้าสตาร์ ที่ระยะทางต่างกัน คือ 20, 40, 60, 80 และ 100 เมตร ทดลองโดยใช้เวลาขังน้ำ 5 วัน ระบายน้ำเสียออกทิ้งให้ดินแห้ง 2 วัน รวมระยะเวลาแต่ละรอบ 7 วัน เป็นจำนวน 13 รอบ จากการทดลองสรุปได้ว่า 1) ระบบหญ้ากรองน้ำเสียสามารถบำบัด BOD ในน้ำเสียได้ทั้งในแนวระดับและแนวดิ่ง แต่ไม่สามารถบำบัด COD ในน้ำเสียได้ทั้งในแนวระดับและแนวดิ่ง 2) ระยะทางการบำบัดน้ำเสียมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการบำบัด BOD โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยพืชเกือบทุกชนิด ประสิทธิภาพส่วนใหญ่ให้ผลบวกในระยะทางที่ (60, 80, 100 เมตร) และ 3) ประสิทธิภาพการทำบัด BOD โดยใช้ดินในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช สามารถบำบัดได้ดีกว่าระบบดินเปล่าเพียงอย่างเดียว และพบว่า พืช กกกลม และหญ้าแฝกพันธุ์อินโดนีเซีย หญ้าแฝกพันธุ์ศรีลังกา หญ้าคาลลา หญ้าโคสครอส และหญ้าสตาร์ ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไม่แตกต่างกัน ดังนั้นพืชที่เหมาะสมที่สุดกับระบบบำบัดนี้ควรเป็นหญ้าแฝกพันธุ์อินโดนีเซีย หญ้าแฝกพันธุ์ศรีลังกา และกกกลม เนื่องจากมีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ได้สูง และนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก และหญ้าแฝกเป็นพืชที่ปลูกเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ

ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดซับสารอาหาร หรือมลสารต่างๆในน้ำเสียได้แตกต่างกัน ทำให้มีประสิทธิภาพแตกต่างกัน นอกจากนี้ปัจจัยเรื่องการเพาะปลูกพืชตามลักษณะพื้นที่หรือท้องถิ่นอีกด้วย จึงทำให้การคัดเลือกพืชนำมาให้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยบึงประดิษฐ์จึงมีความหลากหลาย ซึ่งพืชจะมีกลไกในการบำบัดมลสารต่างๆ ในน้ำขึ้นก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพแวดล้อมด้วยดังงานวิจัยของ ศรปราชญ์ ธไนศวรรยางกูร และคณะ (2543) ศึกษาการสังเคราะห์แสงและการส่งลำเลียงก๊าซออกซิเจนในประชากรธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) พบว่า

มีธูปฤามีอัตราการสังเคราะห์แสงของแผ่นใบค่อนข้างสูง โดยส่วนปลายของใบมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าตอนล่างของใบ เนื่องจากส่วนปลายใบมีอายุมากกว่าซึ่งสอดคล้องกับตำแหน่งและลำดับการเกิดใบบนต้น นอกจากนี้อัตราการสังเคราะห์แสงของแผ่นใบยังแตกต่างกันในแต่ละสถานที่ ละติจูด ห้วง ระยะเวลาในรอบปี ปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ และปริมาณสารอินทรีย์ที่สะสมในแหล่งน้ำซึ่งธูปฤาษีเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลให้มีการขยายพื้นที่ใบเพิ่มการเจริญเติบโต และมีการสร้าง มวลชีวภาพเพิ่มขึ้น อาจส่งผลให้มีการเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง และหรืออาจทำให้ปริมาณการสังเคราะห์แสงโดยรวมของประชากรธูปฤาษีเพิ่มขึ้น ซึ่งย่อมมีโอกาสทำให้มีมีการสร้างก๊าซออกซิเจนหมุนเวียนในระบบนิเวศเพิ่มขึ้นด้วย จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสงอาจมีการส่ง ลำเลียงไปยังระบบรากอย่างต่อเนื่องได้โดยผ่านเซล parenchyma และช่องว่างระหว่างเซลของใบ แล้วเข้าสู่เซล aerenchyma และช่องว่างระหว่างเซลของราก rhizome และ Creeping rhizome ตามลำดับ เพื่อส่งไปสู่ต้นที่เกิดขึ้นข้างเคียง อย่างไรก็ตาม ก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสงบางส่วนอาจถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ (respiration) ของต้นธูปฤาษีเอง ทั้งภายในต้นที่สังเคราะห์แสง และ/หรือ ต้นที่เกิดข้างเคียง ซึ่งเป็นไปได้ที่ต้นที่เกิดลำดับถัดออกไปจากต้นแม่มาก (เช่น ลำดับที่ 4-5 เป็นต้น) ก็อาจมีการใช้ออกซิเจนจากต้นแม่เพื่อการหายใจบางส่วนด้วยเช่นกัน ขณะเดียวกัน กาซออกซิเจนที่ถูกสร้างขึ้นก็อาจถูกปลดปล่อยออกจากระบบ ทั้งโดยการส่งลำเลียงย้อนกลับขึ้นสู่ฐานของใบและปลดปล่อยสู่บรรยากาศทางช่องปากใบ ช่องว่างขนาดเล็กระหว่างเซลโดยกระบวนการ Pressurisation ของต้นที่สร้างก๊าซออกซิเจนขึ้น ร่วมกับต้นที่เกิดข้างเคียง และ/หรือ โดยการปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนจากบริเวณผิวรากแล้วก๊าซออกซิเจนละลายในน้ำก่อนระเหยเข้าสู่ชั้นบรรยากาศเหนือผิวน้ำต่อไป

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระในการบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด โดยมีระเบียบวิธีวิจัยดังนี้

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) ชุดทดลองบึงประดิษฐ์

ชุดทดลองระดับห้องปฏิบัติการที่จำลองสภาพของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับสภาพของบ่อพักน้ำของเกษตรกร จำนวน 4 ชุด จัดทำจากไฟเบอร์กลาสขนาดกว้าง 0.5 เมตร ยาว 2.0 เมตร ลึก 0.6 เมตร ชั้นวัสดุกรองในชุดทดลองมี 2 ชั้น ประกอบด้วย 1) ชั้นล่างใช้กรวดความหนา 15 เซนติเมตร และ 2) ชั้นบนใช้ดินผสมทราย อัตราส่วนดิน 3 ส่วน ต่อ ทราย 1 ส่วน ความหนา 20 เซนติเมตร

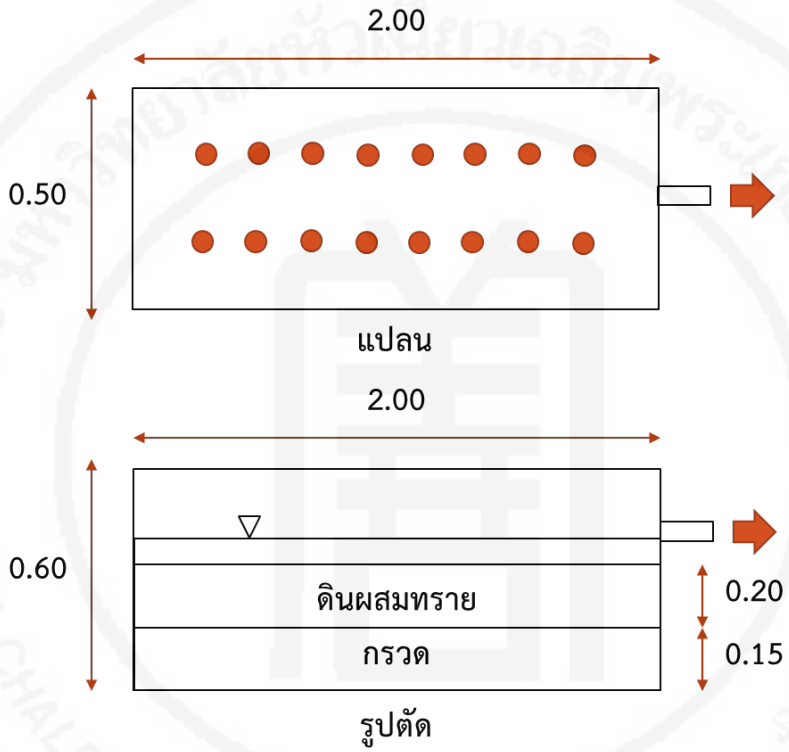
การปลูกต้นไม้ ทุกต้นจะปลูกห่างจากผนัง 15 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างต้น ในแนวกว้าง และแนวยาวเท่ากับ 20 เซนติเมตร คิดเป็นความหนาแน่นเท่ากับ 16 ต้นต่อตารางเมตร ดังแสดงใน**ภาพที่ 3.1-1**

การเดินระบบฯ จะดำเนินการเปรียบเทียบ 2 รูปแบบได้แก่

1.1) การเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous) จะใช้ Peristaltic pump สูบน้ำเพาะเลี้ยงสังเคราะห์จากถังเตรียมน้ำเพาะเลี้ยงสังเคราะห์ PE ขนาด 500 ลิตร ด้วยอัตราการไหล 50 ลิตรต่อวัน ควบคุมอัตราภาระชลศาสตร์ (Hydraulic loading rate, HLR) เท่ากับ 0.05 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน มีระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time, HRT) อยู่ในชุดทดลองบึงประดิษฐ์เท่ากับ 6 วัน ซึ่งคำนวณได้จากสมการ HRT = WLDN/Q (Sahu O., 2014) โดยที่ W คือความกว้างของบึงประดิษฐ์ (0.5ม.), L คือความยาวของบึงประดิษฐ์ (2.0 ม.), D คือความลึกของบึงประดิษฐ์ (0.4 ม.), N คือสัมประสิทธิ์ช่องว่างของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (0.75) และ Q คืออัตราการไหลของน้ำเสีย (50 ลิตร/วัน) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเพาะเลี้ยงสังเคราะห์จากถังเตรียมน้ำไป

วิเคราะห์ลักษณะสมบัติเปรียบเทียบกับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์

1.2) การเดินระบบแบบเป็นกะ (Batch) จะใช้การสูบน้ำเพาะเลี้ยงสังเคราะห์ไปขังในชุดทดลองเป็นระยะเวลา 6 วัน ซึ่งเท่ากับระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ของชุดทดลองแบบเดินระบบต่อเนื่อง



ภาพที่ 3.1-1 แปลนและรูปตัดชุดทดลองบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ

2) เครื่องมือวิเคราะห์

- Atomic absorption spectroscopy (AAS)
- Incubator 20 ^{O}C
- pH meter
- Macro-kjeldahl apparatus
- เครื่องแก้ว

3) สารเคมีที่ใช้

- สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำเพาะเลี้ยงปลาสลิดสังเคราะห์ ประกอบด้วย NaCl, Glucose, Urea, $FeCl_2$, $NaHCO_3$, KH_2PO_4, $MgSO_4.7H_2O$ และ Stock solution ที่มี Pb และ Cd เป็นองค์ประกอบ
- สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน

3.1.2 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1) ขั้นการเตรียมการ

เป็นขั้นตอนการศึกษาสภาพปัญหา และสภาพปัจจุบันของพื้นที่เพื่อจำลองสภาวะสำหรับการทดลองที่สอดคล้องลักษณะของบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดบางบ่อ โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงและคลองที่เกษตรกรใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาสลิดและทำการวิเคราะห์ พีเอช บีโอดี ฟอสฟอรัสทั้งหมด ไนโตรเจนในรูปของทีเคเอ็น ตะกั่ว และแคดเมียม โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ครั้ง ได้แก่ ครั้งที่ 1 วันที่ 26 สิงหาคม 2560 ครั้งที่ 2 วันที่ 22 ตุลาคม 2560 และครั้งที่ 3 วันที่ 21 ธันวาคม 2560 หลังจากนั้นนำข้อมูลมาใช้ในการกำหนดองค์ประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ หลังจากนั้นทำการศึกษาพันธุ์พืชที่ปลูกในบ่อพักน้ำของเกษตรกร เพื่อกำหนดพันธุ์พืชที่ใช้ในบึงประดิษฐ์ และจัดทำชุดทดลองและปลูกพืชในบึงประดิษฐ์

1.1) จุดเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด

ได้แก่ บ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดที่ตั้งอยู่ในตำบลคลองด่าน อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ ที่มีลักษณะการเพาะเลี้ยงแบบภูมิปัญญา สภาพภายในบ่อมีการปลูกพืชในบ่อเพาะเลี้ยงเพื่อใช้เป็นอาหารปลาสลิด เช่น บัว ธูปฤาษี หญ้าแห้ว เป็นต้น (**ภาพที่ 3.1-2)** บ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดที่สำรวจ ประกอบด้วย บ่อเก็บน้ำจำนวน 1 บ่อ และบ่อเพาะเลี้ยงจำนวน 3 บ่อ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำแบบ composite โดยบ่อที่ 1 – 4 เก็บตัวอย่างจำนวน 2, 5, 3 และ 2 จุด ตามลำดับ ดังแสดงใน**ภาพที่ 3.1-3**

บ่อ 1 พื้นที่ 2 ไร่
มีลักษณะเป็นบ่อดินใช้ประโยชน์เพื่อใช้เป็นบ่อพักน้ำ

บ่อ 2 พื้นที่ 40 ไร่
มีลักษณะเป็นบ่อดิน ใช้ประโยชน์เพื่อเป็นบ่อเพาะเลี้ยง

บ่อ 3 พื้นที่ 17 ไร่
มีลักษณะเป็นบ่อดิน ใช้ประโยชน์เพื่อเป็นบ่อเพาะเลี้ยง

บ่อ 4 พื้นที่ 3 ไร่
มีลักษณะเป็นบ่อดิน ใช้ประโยชน์เพื่อเป็นบ่อเพาะเลี้ยง

ภาพที่ 3.1-2 บ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด

บ่อที่ 1 เก็บตัวอย่างจำนวน 2 จุด

บ่อที่ 2 เก็บตัวอย่างจำนวน 5 จุด

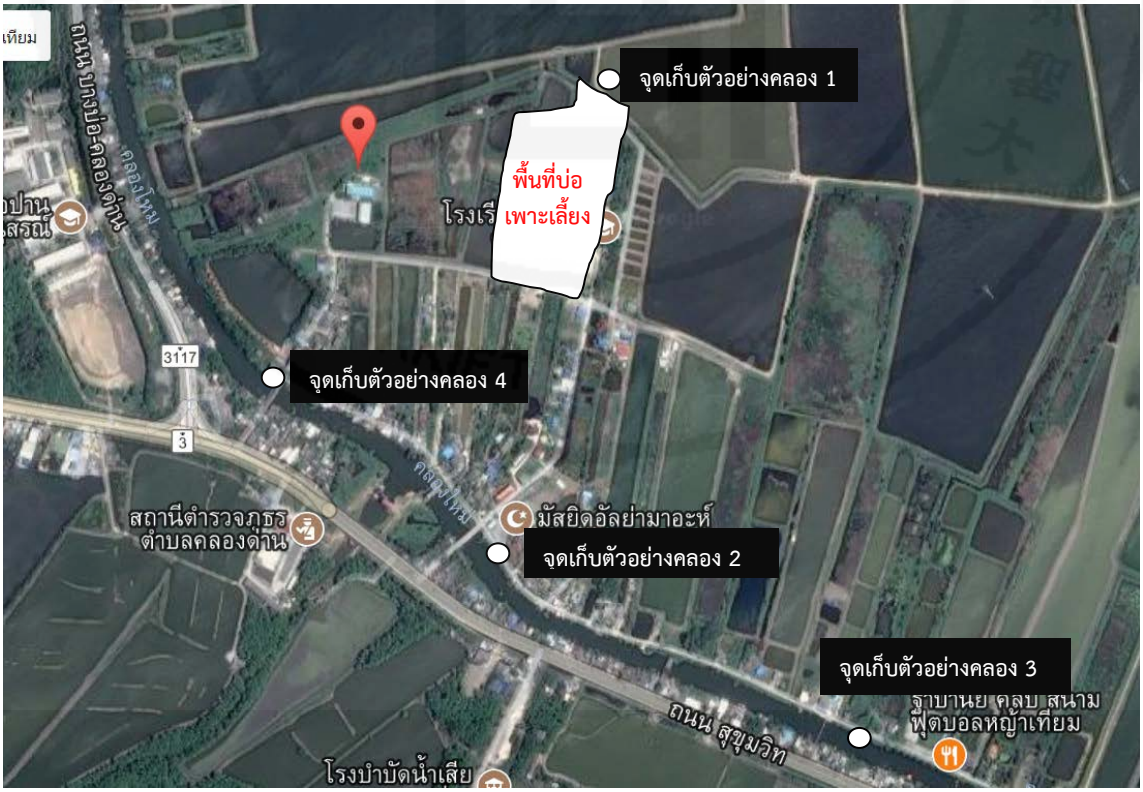
บ่อที่ 3 เก็บตัวอย่างจำนวน 3 จุด

บ่อที่ 4 เก็บตัวอย่างจำนวน 2 จุด

ภาพที่ 3.1-3 จุดเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนกอนในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด

1.2) จุดเก็บตัวอย่างน้ำในคลอง

บริเวณทางทิศเหนือของบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดอยู่ติดกับลำรางสาธารณะ ซึ่งเชื่อมต่อกับคลองโหมบริเวณริมถนนสุขุมวิท ซึ่งเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงได้ใช้น้ำจากคลองดังกล่าวในการเพาะเลี้ยง คณะผู้วิจัยจึงได้กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำในคลองธรรมชาติจากลำรางสาธารณะและน้ำในคลองโหม ดังแสดง**ภาพที่ 3.1-4**



จุดที่ 1 ลำรางข้างบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด มีกลิ่นเหม็น

จุดที่ 2 คลองโหม บริเวณสะพานข้ามคลอง น้ำมีสีเขียว

จุดที่ 3 คลองโหม บริเวณสะพานไม้ น้ำมีสีเขียว

จุดที่ 4 คลองโหม บริเวณท่าน้ำของร้านอาหารป้อมทีซีฟูด น้ำมีสีเขียว

ภาพที่ 3.1-4 ตำแหน่งที่ตั้งบ่อเพาะเลี้ยงและจุดเก็บตัวอย่างน้ำผิวดินโดยรอบพื้นที่บ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด

1.3) การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

คณะผู้วิจัยจะดำเนินการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีลักษณะสมบัติคล้ายน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดและน้ำในคลองที่เกษตรกรใช้ในการเพาะเลี้ยง โดยพิจารณาที่ Percentile ที่ 80 (P80) ดัง**ตารางที่ 3.1-1**

ตารางที่ 3.1-1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

พารามิเตอร์	**หน่วย**	**ค่าความสกปรกของน้ำเสียสังเคราะห์**	**น้ำหนักของสารในน้ำ 1 L (mg)**
COD	mg/L	150	น้ำตาลทราย 133.93
TKN	mg/L	10	NH_4Cl 38.208
Phosphate	mg/L	2	KH_2PO_4 8.770
Pb	ppm	0.5	$Pb(NO_3)_2$ 1.3721
Cd	ppm	0.5	$Cd(NO_3)_2.4H_2O$ 0.79925

3) ขั้นการทดลอง

คณะผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างพืชในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดของเกษตร ในวันที่ 9 กันยายน 2560 ได้แก่ บัวเผื่อน ธูปฤาษี และหญ้าแห้ว (**ภาพที่ 3.1-5**) เพื่อนำมาใช้ในการทดลองศึกษาประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ แล้วนำมาเพาะในกระถางเป็นเวลาประมาณ 2 สัปดาห์ (**ภาพที่ 3.1-6**) เพื่อให้พืชฟื้นตัว หลังจากนั้นได้นำเพาะลงชุดทดลองบึงประดิษฐ์ในวันที่ 23 กันยายน 2560 (**ภาพที่ 3.1-7**) และปล่อยให้พืชฟื้นตัวในชุดทดลองเป็นเวลาประมาณ 3 สัปดาห์จึงเริ่มต้นเดินระบบในวันที่ 16 ตุลาคม 2560

ภาพที่ 3.1-5 การเก็บต้นพืชจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด

ภาพที่ 3.1-6 เพาะพืชในกระถาง

ชุดทดลองที่ 1 บัว ชุดทดลองที่ 2 ธูปฤาษี ชุดทดลองที่ 3 หญ้าแห้ว

ชุดการทดลองที่ 4 พืชผสม ชุดการทดลองที่ 5 ชุดควบคุม

ภาพที่ 3.1-7 ชุดทดลองบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมชั้นกรองอย่างอิสระ

การทดลองศึกษาประสิทธิภาพในกำจัดตะกั่วและแคดเมียม คณะผู้วิจัยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง 2 ปัจจัย ได้แก่ 1) รูปแบบของการเดินระบบระหว่างการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง (Continuous Flow) และการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะ (Batch Flow) และ 2) ประเภทของพืชน้ำที่ใช้ในบึงประดิษฐ์ ได้แก่ บัว ธูปฤาษี และหญ้าแห้ว โดยแบ่งออกเป็น 10 ชุดการทดลอง ดังแสดงใน**ตารางที่ 3.1-2**

ตารางที่ 3.1-2 รายละเอียดชุดทดลอง

ลำดับ	พืชน้ำที่ใช้	รูปแบบการเดินระบบ	ภาระบรรทุกชลศาสตร์ (ซม./วัน)	อัตราการไหล (ลิตร/วัน)	เวลาเก็บกัก (วัน)
1	ไม่ปลูกพืช (ชุดควบคุม)	Continuous	5	50	6
2	บัว	Continuous	5	50	6
3	ธูปฤาษี	Continuous	5	50	6
4	หญ้าแห้ว	Continuous	5	50	6
5	ปลูกพืชผสม (บัว ธูปฤาษี และ หญ้าแห้ว)	Continuous	5	50	6
6	ไม่ปลูกพืช (ชุดควบคุม)	Batch	-	-	6
7	บัว	Batch	-	-	6
8	ธูปฤาษี	Batch	-	-	6
9	หญ้าแห้ว	Batch	-	-	6
10	ปลูกพืชผสม (บัว ธูปฤาษี และ หญ้าแห้ว)	Batch	-	-	6

ทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด โดยตรวจวัด pH, BOD, COD, TKN, TP, Pb และ Cd ทุก ๆ 6 วัน ทำการตรวจวัดซ้ำ 2 ครั้ง โดยที่ชุดการทดลองที่ 1-5 จะทดลองต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 2 เดือน และชุดการทดลองที่ 6-10 จะทดลองต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 2 เดือน วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำแสดงดัง**ตารางที่ 3.1-3**

ตารางที่ 3.1-3 วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการ
pH	Electronic Method
BOD	Direct Method
COD	Closed Reflux Method
TKN	Macro-Kjeldahl Method
TP	Vanadomolybdophosphoric Acid Method
Pb	Atomic Absorption Spectrometric Method
Cd	Atomic Absorption Spectrometric Method

ที่มา : E.W. Rice, R.B. Baird, A.D. Eaton, editors. 2017. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition.** American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

4) ขั้นวิเคราะห์ผลการทดลอง

ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรูปแบบในการเดินระบบฯ ระหว่างกรณีการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องและการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะ รวมถึงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชแต่ละชนิด โดยอาศัยเครื่องมือดังนี้

- สถิติเชิงพรรณนา
- จลนพลศาสตร์ทางเคมี (Chemical Kinetics) ซึ่งมีสมมติฐานว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในบึงประดิษฐ์มีความสัมพันธ์กับเวลากักพักทางชลศาสตร์ (HRT, d) เป็นไปตามสมการปฏิกิริยาลำดับที่ 1 (First Order Kinetic) ดังนี้ (Mohd Noor N.A., *et. al*., 2015 และ Douglas-Mankin K.R., Ikenberry C.D. 2007)

$$C_i/C_o = - e^{-K.HRT}$$

เมื่อ C_i = ความเข้มข้นของน้ำเข้า (mg/l)

C_o = ความเข้มข้นของน้ำออก (mg/l)

K = อัตราการกำจัด (day^{-1})

ในการวิเคราะห์หาชนิดของพืชและรูปแบบของการเดินระบบที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาบ่อพักน้ำของเกษตรกรให้กลายเป็นบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ คณะผู้วิจัยพิจารณาจากชนิดพืชและรูปแบบการเดินระบบที่ต้องการเวลาในการบำบัดต่ำที่สุดที่สามารถบำบัดน้ำให้มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่ต้องการ โดยอาศัยหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

- การปรับปรุงคุณภาพน้ำแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ <u>กรณีที่ 1</u> การปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดินให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ก่อนนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาสลิด และ <u>กรณีที่ 2</u> การปรับปรุงคุณภาพน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดให้ผ่านมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ก่อนระบายออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ
- เปรียบเทียบระยะเวลาในการบำบัด หรือ เวลากักพักทางชลศาสตร์ (day) ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชชนิดต่าง ๆ และเดินระบบต่างกัน ที่สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยพิจารณาจากความความสกปรกของน้ำที่ผ่านการบำบัดในรูปของ BOD, TKN และ TP ต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานเป็นหลัก ส่วนพารามิเตอร์ตะกั่วและแคดเมียม ไม่จำเป็นนำมาพิจารณาเนื่องจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบบึงประดิษฐ์สามารถบำบัดให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ในระยะเวลาการบำบัด 6 วันอยู่แล้ว
- ระยะเวลาในการบำบัดขั้นต่ำที่ใช้ กำหนดให้เท่ากับ 6 วัน ตามผลการทดลอง ซึ่งหากผลการคำนวณพบว่าระยะเวลาในการบำบัดต่ำกว่า 6 วัน ให้ใช้ระยะเวลาในการบำบัดขั้นต่ำเท่ากับ 6 วัน

5) ขั้นอภิปรายและสรุป

3.2. แผนงานของโครงการ

แผนงานโครงการวิจัย มีระยะเวลารวมทั้งสิ้น 10 เดือน (ไม่นับรวมระยะเวลาปรับแก้โครงร่างงานวิจัย การขอจริยธรรมงานวิจัย และการทำสัญญางานวิจัย ในช่วง 2 เดือนแรก) แสดงดัง**ตารางที่ 3.2-1**

ตารางที่ 3.2-1 แผนงานโครงการ

คำถามการวิจัย	ระเบียบวิธีวิจัย	กิจกรรม	ผลที่คาดว่าจะได้รับ	วัน/เวลาดำเนินการ
1. ลักษณะสมบัติของน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงเป็นอย่างไร	1. เก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในคลองที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง 2. ศึกษาพันธุ์พืชในบ่อพักน้ำ 3. จัดเตรียมชุดทดลองและน้ำเสียสังเคราะห์	1. สำรวจพื้นที่บ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด 2. เก็บตัวอย่างน้ำคลองที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงและวิเคราะห์ลักษณะสมบัติ 3. จัดทำชุดทดลองจำนวน 5 ชุด 4. ปลูกพืชในชุดทดลอง 5. เตรียมน้ำสังเคราะห์ที่ลักษณะสมบัติเหมือนน้ำคลองที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง	1. ได้องค์ประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ 2. ได้ชุดทดลอง	เดือนที่ 1-3
2. รูปแบบการเดินระบบบึงประดิษฐ์ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาบ่อพักน้ำของเกษตรกรในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมเป็นอย่างไร 3. ชนิดของพืชน้ำที่เหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาบ่อพักของเกษตรกรในการกำจัดจัดตะกั่วและแคดเมียมคือพืชอะไร	1. เดินระบบบึงประดิษฐ์ตามแผนการทดลอง 2. สรุป และอภิปรายผลการศึกษา	1. เดินระบบบึงประดิษฐ์ ชุดการทดลองที่ 1-5 เป็นเวลา 2 เดือน 2. เดินระบบบึงประดิษฐ์ชุดการทดลองที่ 6-10 เป็นระยะเวลา 2 เดือน 2. เก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่เข้าและออกจากระบบบึงประดิษฐ์ทุกๆ 6 วัน 3. สรุปและอภิปรายผลการศึกษาเป็นระยะเวลา 2 เดือน	1. รูปแบบการเดินระบบที่เหมาะสม 2. ชนิดของพืชที่เหมาะสม 3. รูปแบบในการนำไปใช้ในพื้นที่บ่อเพาะเลี้ยง	เดือนที่ 4-10

บทที่ 4
ผลการศึกษา

1.1 การสำรวจบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด

1.1.1 ลักษณะสมบัติของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด

ลักษณะสมบัติของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดแสดงดังแสดงใน**ตารางที่ 4.1-1** สามารถสรุปได้ดังนี้

บ่อที่ 1 มีค่า pH อยู่ระหว่าง 7.30-10.31 มี DO อยู่ในช่วง 0.39-2.07 mg/L, COD อยู่ในช่วง 96-144 mg/L, TKN อยู่ในช่วง 1.40-15.12 mg/L, TP อยู่ในช่วง 1.40-2.09 mg/L, Pb อยู่ในช่วง 0.0073-0.164 ppm และ Cd อยู่ในช่วง 0.0004-0.134 ppm

บ่อที่ 2 มีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.76-7.44 มี DO อยู่ในช่วง 2.55-5.28 mg/L COD อยู่ในช่วง 64-96 mg/L, TKN อยู่ในช่วง 0.84-8.12 mg/L, TP อยู่ในช่วง 0.56-1.47 mg/L, Pb อยู่ในช่วง 0.008-0.192 ppm และ Cd อยู่ในช่วง 0.0058-0.137 ppm

บ่อที่ 3 มีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.56-7.73 มี DO อยู่ในช่วง 0.90-4.46 mg/L COD อยู่ในช่วง 80-104 mg/L, TKN อยู่ในช่วง 1.96-6.72 mg/L, TP อยู่ในช่วง 0.75-2.22 mg/L, Pb อยู่ในช่วง 0.0205-0.1870 ppm และ Cd อยู่ในช่วง 0.0053-0.1250 ppm

บ่อที่ 4 มีค่า pH อยู่ระหว่าง 7.62-8.46 มี DO อยู่ในช่วง 1.37-8.22 mg/L COD อยู่ในช่วง 96-144 mg/L, TKN อยู่ในช่วง 2.80-19.60 mg/L, TP อยู่ในช่วง 1.29-4.08 mg/L, Pb อยู่ในช่วง 0.0084-0.1980 ppm และ Cd อยู่ในช่วง 0.0123-0.1270 ppm

1.1.2 ลักษณะสมบัติของน้ำในคลอง

ลักษณะสมบัติของน้ำในคลองโดยรอบพื้นที่บ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดแสดงดัง**ตารางที่ 4.1-2** สามารถสรุปได้ดังนี้

จุดที่ 1 มีค่า pH อยู่ในช่วง 7.29-10.31 มี DO อยู่ในช่วง 0.60-3.39 mg/L COD อยู่ในช่วง 120-176 mg/L TKN อยู่ในช่วง 1.40-10.64 mg/L TP อยู่ในช่วง 1.68-5.93 mg/L Pb อยู่ในช่วง 0.0093-0.164 ppm และ Cd อยู่ในช่วง 0.0069-0.132 ppm

น้ำจุดที่ 2 มีค่า pH อยู่ในช่วง 5.32-7.41 มี DO อยู่ในช่วง 1.59-4.01 mg/L COD อยู่ในช่วง 80-160 mg/L TKN อยู่ในช่วง 0.84-5.79 mg/L TP อยู่ในช่วง 1.64-2.17 mg/L Pb อยู่

ในช่วง 0.0068-0.189 ppm และ Cd อยู่ในช่วง 0.0010-0.127 ppm

จุดที่ 3 มีค่า pH อยู่ในช่วง 7.22-7.97 มี DO อยู่ในช่วง 2.26-3.56 mg/L COD อยู่ในช่วง 64-127 mg/L TKN อยู่ในช่วง 1.96-8.12 mg/L TP อยู่ในช่วง 1.45-2.25 mg/L Pb อยู่ในช่วง 0.0147-0.187 ppm และ Cd อยู่ในช่วง 0.0015-0.129 ppm

จุดที่ 4 มีค่า pH อยู่ในช่วง 7.32-9.78 มี DO อยู่ในช่วง 2.30-6.01 mg/L COD อยู่ในช่วง 48-112 mg/L TKN อยู่ในช่วง 2.80-10.92 mg/L TP อยู่ในช่วง 1.35-1.53 mg/L Pb อยู่ในช่วง 0.0073-0.182 ppm และ Cd อยู่ในช่วง 0.0015-0.130 ppm

ตารางที่ 4.1-1 ลักษณะสมบัติของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด

พารามิเตอร์	หน่วย	จุดเก็บตัวอย่าง											
		บ่อที่ 1[1]			บ่อที่ 2[2]			บ่อที่ 3[3]			บ่อที่ 4[4]		
		26ส.ค.60	22ต.ค.60	21ธ.ค.60	26ส.ค.60	22ต.ค.60	21ธ.ค.60	26ส.ค.60	22ต.ค.60	21ธ.ค.60	26ส.ค.60	22 ต.ค.60	21ธ.ค.60
pH	-	7.32	7.30	10.31	6.76	7.44	7.20	6.56	7.33	7.73	8.36	7.62	8.46
DO	mg/L	2.07	0.39	1.71	3.94	2.55	5.28	4.46	0.90	4.02	8.22	1.37	4.70
BOD	mg/L			25.5			27.52.80			24.0			23.5
COD	mg/L	144	96	106	96	64	80	96	104	80	144	96	120
TKN	mg/L	6.16	1.40	15.12	3.36	0.84	8.12	6.53	1.96	6.72	9.52	2.80	19.6
Phosphate	mg/L	1.64	1.40	2.09	1.17	1.47	0.56	1.33	2.22	0.75	1.29	1.58	4.08
Pb	ppm	0.164	0.033	0.0073	0.192	0.053	0.008	0.187	0.041	0.0205	0.1980	0.0450	0.0084
Cd	ppm	0.134	0.075	0.0004	0.137	0.076	0.0058	0.125	0.070	0.0053	0.127	0.070	0.0123

หมายเหตุ : เก็บตัวอย่างวันที่ 26 สิงหาคม 2560, 22 ตุลาคม 2560 และ 21 ธันวาคม 2560

[1] **บ่อที่ 1 เก็บตัวอย่าง composite จำนวน 2 จุด**

[2] **บ่อที่ 2 เก็บตัวอย่าง composite จำนวน 5 จุด**

[3] **บ่อที่ 3 เก็บตัวอย่าง composite จำนวน 3 จุด**

[4] **บ่อที่ 4 เก็บตัวอย่าง composite จำนวน 2 จุด**

ตารางที่ 4.1-2 ลักษณะสมบัติของน้ำในคลอง

พารามิเตอร์	หน่วย	จุดเก็บตัวอย่าง											
		จุดที่ 1			จุดที่ 2			จุดที่ 3			จุดที่ 4		
		26ส.ค.60	22ต.ค.60	21ธ.ค.60	26ส.ค.60	22ต.ค.60	21ธ.ค.60	26ส.ค.60	22ต.ค.60	21ธ.ค.60	26ส.ค.60	22 ต.ค.60	21ธ.ค.60
pH	-	7.29	7.38	8.17	7.41	7.40	5.32	7.22	7.31	7.97	7.32	7.40	9.78
DO	mg/L	3.39	0.60	1.81	2.87	1.59	4.01	3.56	2.26	2.94	3.86	2.30	6.01
BOD	mg/L			22.0			23.5			20.5			22.5
COD	mg/L	176	120	122	160	88	80	127	64	85	112	48	50
TKN	mg/L	7.47	1.40	10.64	5.79	0.84	11.48	5.79	1.96	12.6	5.41	2.80	10.92
Phosphate	mg/L	5.93	1.68	4.83	2.17	1.64	1.82	1.86	1.45	2.25	1.53	1.49	1.35
Pb	ppm	0.205	0.032	0.0093	0.189	0.022	0.0068	0.187	0.016	0.0147	0.182	0.032	0.0073
Cd	ppm	0.132	0.064	0.0069	0.127	0.066	0.0010	0.129	0.066	0.0015	0.130	0.069	0.0015

หมายเหตุ : เก็บตัวอย่างวันที่ 26 สิงหาคม 2560, 22 ตุลาคม 2560 และ 21 ธันวาคม 2560

1.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์สำหรับใช้ทดลองประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ พิจารณาจากค่าความสกปรกของน้ำในบ่อและน้ำในคลองที่ percentile ที่ 80 ซึ่งมีค่า COD, TKN, Phosphate, Pb และ Cd ที่ Percentile 80 สูงสุดเท่ากับ 147, 6.38, 2.05, 0.188 และ 0.130 mg/L ตามลำดับ ดังนั้นจึงกำหนดให้น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าความสกปรกในรูปของ COD, TKN, Phosphate, Pb และ Cd เท่ากับ 150, 10, 2, 0.5 และ 0.5 mg/L ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.2-1**

ตารางที่ 4.2-1 ค่าความสกปรกของน้ำเสียสังเคราะห์

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าความสกปรก						
		บ่อเพาะเลี้ยงปลา			คลอง			น้ำเสีย
		ช่วง	ค่าเฉลี่ย	P80	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	P80	สังเคราะห์
COD	mg/L	96-144	105	128	28-176	112	147	150
TKN	mg/L	0.84-9.52	4.07	6.38	0.28-7.47	3.90	5.79	10
Phosphate	mg/L	1.17-2.22	1.51	1.62	1.45-5.93	2.22	2.05	2
Pb	ppm	0.033-0.198	0.114	0.190	0.016-0.205	0.108	0.188	0.5
Cd	ppm	0.070-0.137	0.102	0.131	0.098-0.132	0.098	0.130	0.5

หมายเหตุ : ค่าความสกปรกพิจารณาจากผลการเก็บตัวอย่างน้ำวันที่ 26 สิงหาคม 2560, 22 ตุลาคม 2560

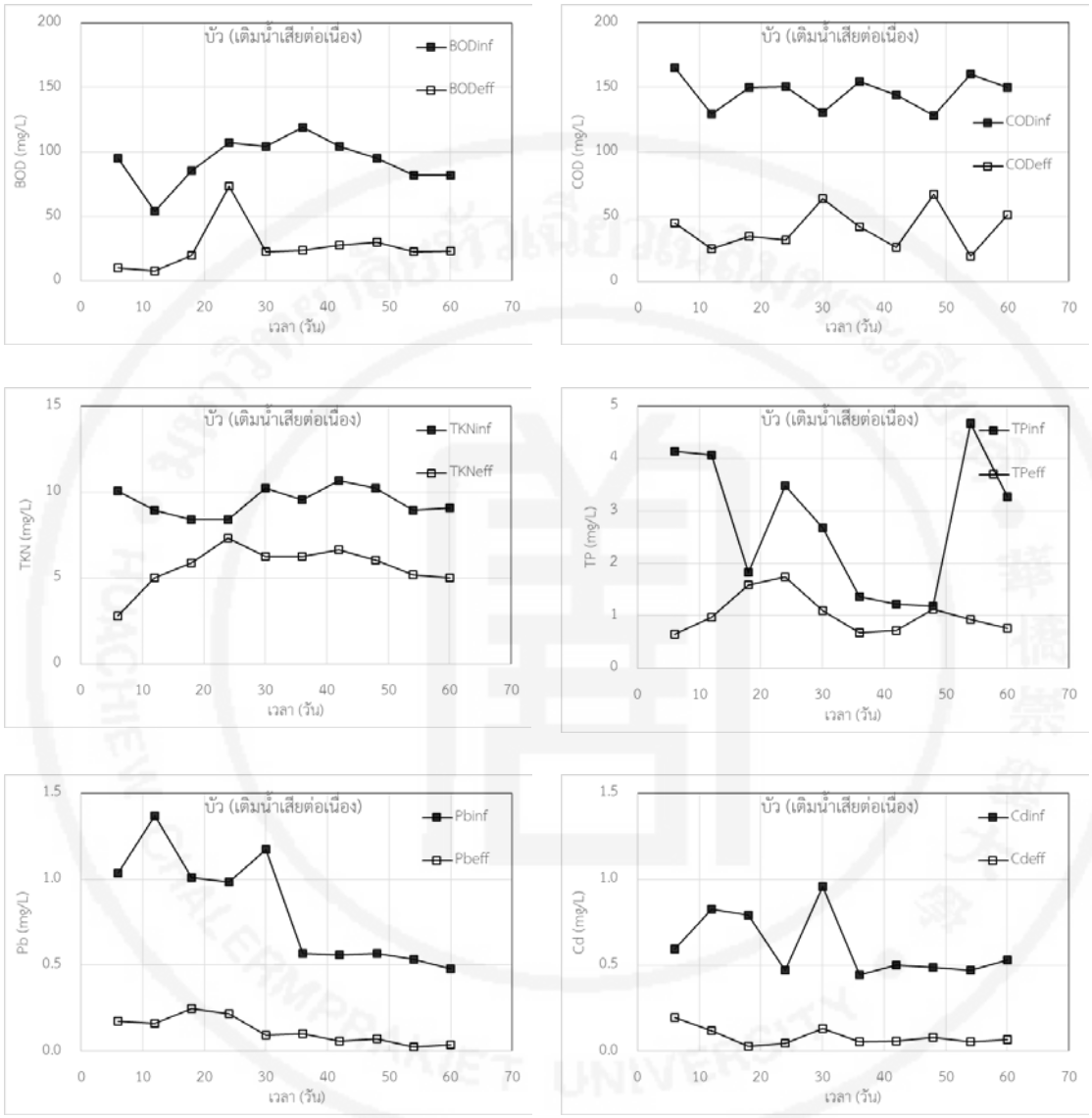
1.3 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์แบบเดินระบบต่อเนื่อง

4.3.1. การทดลองที่ 1 บัว

การทดลองที่ 1 เดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง และปลูกบัวความหนาแน่น 16 ต้น/m^2 ผลการทดลองพบว่าน้ำที่ไหลผ่านออกจากบึงประดิษฐ์มีค่า BOD อยู่ในช่วงระหว่าง 8-74 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 31.46-89.30 % มีค่า COD อยู่ในช่วงระหว่าง 19-64 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 47.5-88.0 % มีค่า TKN อยู่ในช่วงระหว่าง 2.80-7.34 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 12.62-72.22 % มีค่า TP อยู่ในช่วงระหว่าง 0.03-0.22 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 75.40-95.01 % มีค่า Pb อยู่ในช่วงระหว่าง 0.060-0.248 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 75.40-95.01 % มีค่า Cd อยู่ในช่วงระหว่าง 0.028-0.196 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 66.98-96.41 % ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.3-1 และภาพที่ 4.3-1**

ตารางที่ 4.3-1 ผลทดลองการทดลองที่ 1

พารามิเตอร์	ครั้งที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BOD_{inf}	95	54	85	107	104	119	104	95	82	82
BOD_{eff}	10	8	20	74	23	24	28	30	23	23
ประสิทธิภาพ	89.30	85.19	76.95	31.46	78.37	80.25	73.56	68.42	72.56	71.95
COD_{inf}	165	129	150	150	130	154	144	128	160	150
COD_{eff}	45	25	35	32	64	42	26	67	19	51
ประสิทธิภาพ	72.90	80.62	76.63	78.72	50.92	72.54	81.67	47.50	88.00	65.78
TKN_{inf}	10.08	8.96	8.40	8.40	10.25	9.55	10.65	10.25	8.96	9.07
TKN_{eff}	2.80	5.04	5.88	7.34	6.27	6.27	6.66	6.05	5.21	5.04
ประสิทธิภาพ	72.22	43.75	30.00	12.62	38.81	34.32	37.43	41.00	41.88	44.44
TP_{inf}	1.04	1.37	1.01	0.98	1.17	0.57	0.56	0.57	0.54	0.48
TP_{eff}	0.17	0.16	0.25	0.22	0.09	0.10	0.06	0.07	0.03	0.04
ประสิทธิภาพ	83.13	88.12	75.40	77.91	92.20	81.78	89.25	87.61	95.01	92.28
Pb_{inf}	1.036	1.370	1.009	0.981	1.174	0.570	0.561	0.569	0.536	0.480
Pb_{eff}	0.175	0.163	0.248	0.217	0.092	0.104	0.060	0.071	0.027	0.037
ประสิทธิภาพ	83.13	88.12	75.40	77.91	92.20	81.78	89.25	87.61	95.01	92.28
Cd_{inf}	0.594	0.826	0.792	0.470	0.958	0.446	0.501	0.487	0.473	0.532
Cd_{eff}	0.196	0.119	0.028	0.047	0.132	0.057	0.062	0.080	0.054	0.070
ประสิทธิภาพ	66.98	85.63	96.41	90.01	86.20	87.32	87.73	83.58	88.52	86.94



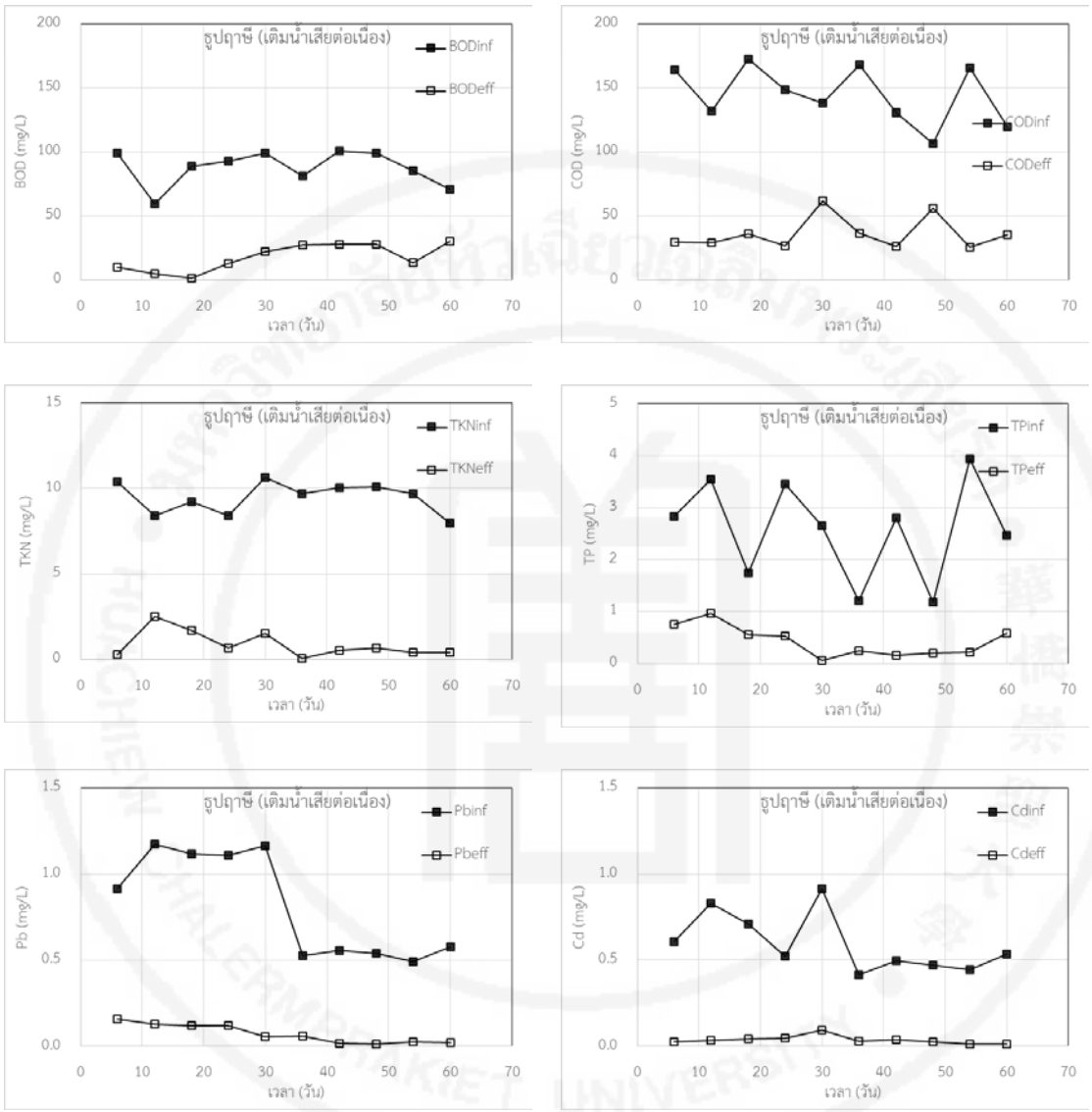
ภาพที่ 4.3-1 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 1

4.3.2. การทดลองที่ 2 ธูปฤาษี

การทดลองที่ 2 เดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง และปลูกธูปฤาษีความหนาแน่น 16 ต้น/m^2 ผลการทดลองพบว่าน้ำที่ไหลผ่านออกจากบึงประดิษฐ์มีค่า BOD อยู่ในช่วงระหว่าง 1-30 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 57.75-98.68 % มีค่า COD อยู่ในช่วงระหว่าง 26-62 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 55.49-84.54 % มีค่า TKN อยู่ในช่วงระหว่าง 0.06-2.52 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 70.00-97.30 % มีค่า TP อยู่ในช่วงระหว่าง 0.06-0.97mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 67.82-97.74 % มีค่า Pb อยู่ในช่วงระหว่าง 0.013-0.159 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 88.43-97.64 % มีค่า Cd อยู่ในช่วงระหว่าง 0.010-0.095 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 89.64-98.22 % ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.3-2**

ตารางที่ 4.3-2 ผลทดลองการทดลองที่ 2

พารามิเตอร์	ครั้งที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BOD_{inf}	99	59	89	93	99	81	101	99	85	71
BOD_{eff}	10	5	1	13	22	28	28	28	14	30
ประสิทธิภาพ	89.73	91.85	98.68	86.19	77.78	66.05	72.28	71.72	84.00	57.75
COD_{inf}	164	132	173	149	138	168	130	106	166	120
COD_{eff}	29	29	36	27	62	37	26	56	26	35
ประสิทธิภาพ	82.05	78.16	79.17	81.96	55.49	78.10	79.75	47.37	84.54	70.67
TKN_{inf}	10.36	8.40	9.24	8.40	10.65	9.70	10.05	10.10	9.69	7.95
TKN_{eff}	0.28	2.52	1.68	0.67	1.51	0.06	0.50	0.67	0.39	0.39
ประสิทธิภาพ	97.30	70.00	81.82	92.02	85.80	99.42	94.99	93.35	95.95	95.07
TP_{inf}	2.83	3.54	1.74	3.45	2.65	1.21	2.80	1.18	3.94	2.47
TP_{eff}	0.76	0.97	0.56	0.53	0.06	0.24	0.16	0.20	0.22	0.59
ประสิทธิภาพ	73.14	72.60	67.82	84.64	97.74	80.17	94.29	83.05	94.42	76.11
Pb_{inf}	0.917	1.174	1.115	1.108	1.165	0.525	0.555	0.540	0.492	0.576
Pb_{eff}	0.159	0.130	0.118	0.118	0.055	0.061	0.016	0.013	0.024	0.018
ประสิทธิภาพ	82.66	88.97	89.43	89.38	95.32	88.43	97.07	97.64	95.12	96.83
Cd_{inf}	0.608	0.828	0.711	0.520	0.917	0.413	0.494	0.472	0.445	0.534
Cd_{eff}	0.025	0.033	0.040	0.047	0.095	0.028	0.037	0.023	0.011	0.010
ประสิทธิภาพ	95.94	96.03	94.37	90.96	89.64	93.16	92.52	95.23	97.53	98.22



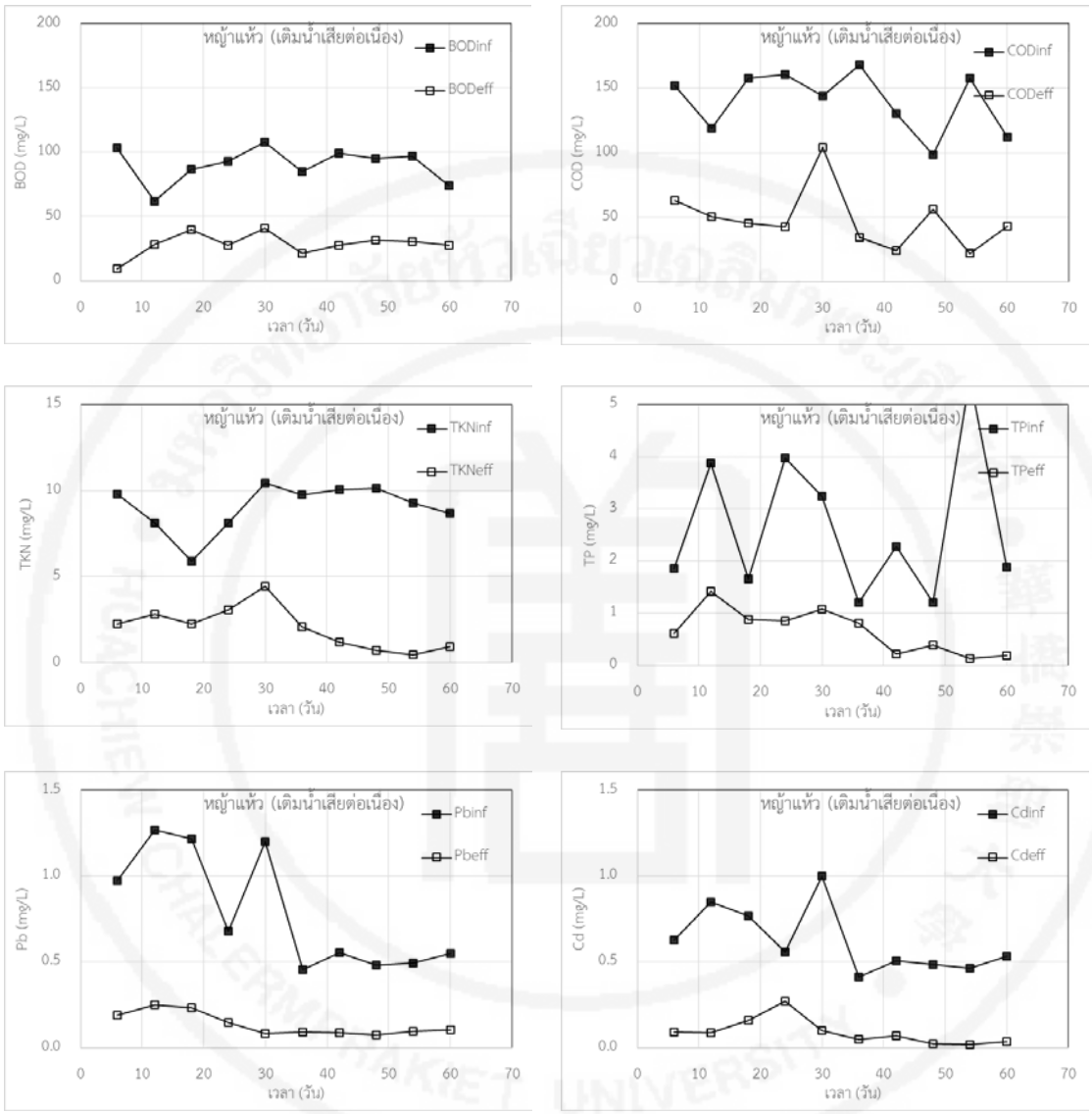
ภาพที่ 4.3-2 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 2

4.3.3. การทดลองที่ 3 หญ้าแห้ว

การทดลองที่ 3 เดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง และปลูกหญ้าแห้วความหนาแน่น 16 ต้น/m^2 ผลการทดลองพบว่าน้ำที่ไหลผ่านออกจากบึงประดิษฐ์มีค่า BOD อยู่ในช่วงระหว่าง 9-41 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 54.42-90.94 % มีค่า COD อยู่ในช่วงระหว่าง 22-104 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 27.78-81.60 % มีค่า TKN อยู่ในช่วงระหว่าง 0.45-4.42 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 57.67-95.18 % มีค่า TP อยู่ในช่วงระหว่าง 0.13-1.07 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 33.06-90.35 % มีค่า Pb อยู่ในช่วงระหว่าง 0.075-0.250 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 78.21-93.22 % มีค่า Cd อยู่ในช่วงระหว่าง 0.019-0.269 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 51.70-95.99 % ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.3-3**

ตารางที่ 4.3-3 ผลทดลองการทดลองที่ 3

พารามิเตอร์	ครั้งที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BOD_{inf}	103	62	87	93	108	85	99	95	97	74
BOD_{eff}	9	28	40	28	41	22	28	32	31	28
ประสิทธิภาพ	90.94	54.44	54.42	70.32	62.04	74.71	72.22	66.84	68.56	62.84
COD_{inf}	152	119	157	160	144	168	130	98	158	112
COD_{eff}	63	50	45	42	104	34	24	56	22	43
ประสิทธิภาพ	58.74	57.75	71.42	73.57	27.78	79.52	81.60	43.09	86.29	61.43
TKN_{inf}	9.80	8.12	5.88	8.12	10.45	9.75	10.05	10.15	9.30	8.68
TKN_{eff}	2.24	2.80	2.24	3.08	4.42	2.07	1.18	0.73	0.45	0.95
ประสิทธิภาพ	77.14	65.52	61.90	62.07	57.67	78.75	88.30	92.83	95.18	89.03
TP_{inf}	1.86	3.88	1.65	3.97	3.24	1.21	2.28	1.21	5.53	1.88
TP_{eff}	0.61	1.42	0.88	0.85	1.07	0.81	0.22	0.38	0.13	0.19
ประสิทธิภาพ	67.20	63.40	46.67	78.59	66.98	33.06	90.35	68.60	97.65	89.89
Pb_{inf}	0.971	1.270	1.217	0.675	1.201	0.455	0.555	0.480	0.493	0.547
Pb_{eff}	0.189	0.250	0.232	0.147	0.082	0.093	0.087	0.075	0.097	0.103
ประสิทธิภาพ	80.51	80.29	80.91	78.21	93.22	79.56	84.27	84.32	80.38	81.12
Cd_{inf}	0.625	0.847	0.766	0.557	1.000	0.410	0.506	0.484	0.461	0.534
Cd_{eff}	0.090	0.089	0.158	0.269	0.100	0.047	0.069	0.024	0.019	0.035
ประสิทธิภาพ	85.67	89.54	79.42	51.70	89.98	88.60	86.31	95.14	95.99	93.44



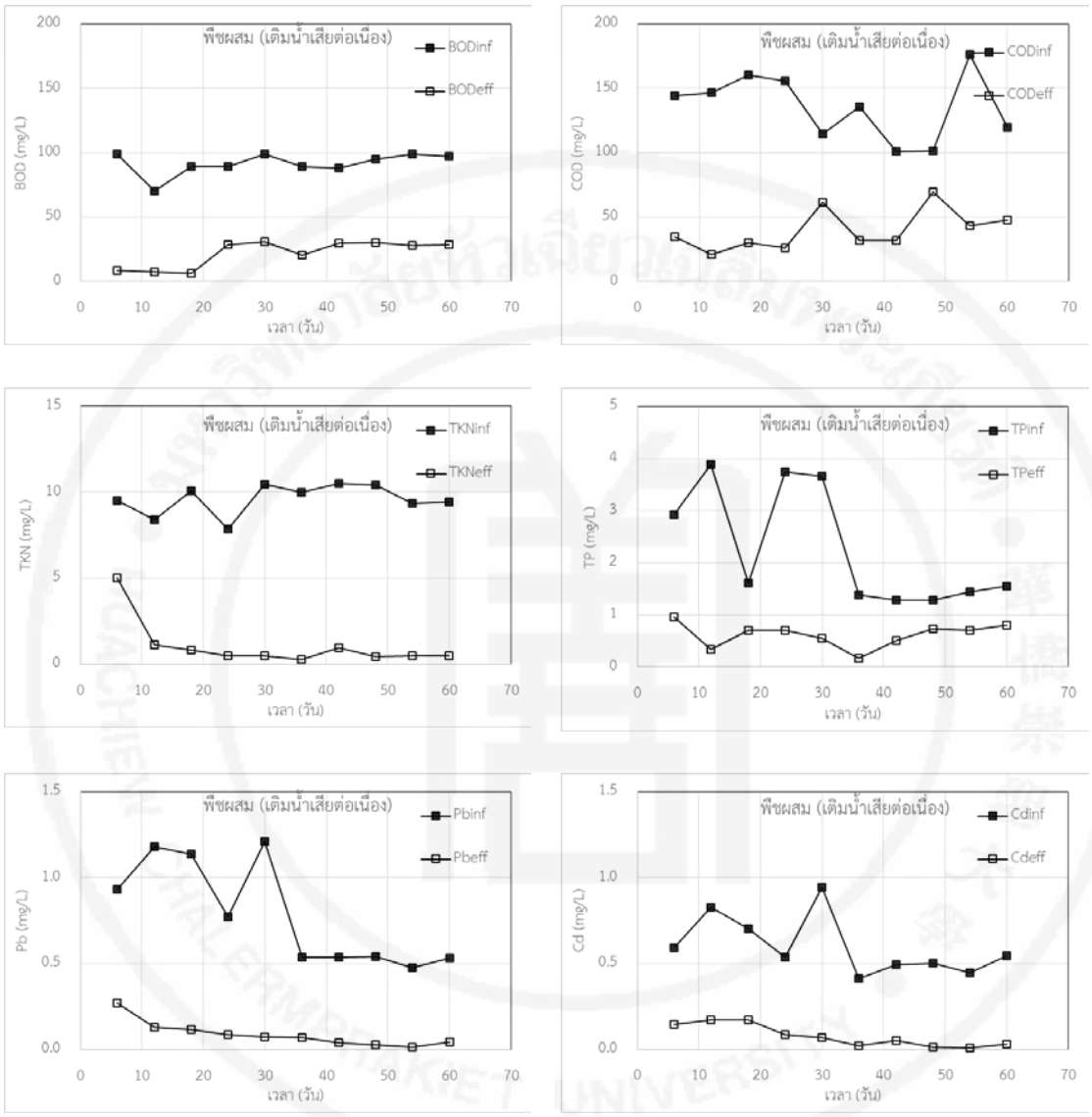
ภาพที่ 4.3-3 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 3

4.3.4. การทดลองที่ 4 พืชผสม (บัว ธูปฤาษี หญ้าแห้ว)

การทดลองที่ 4 เดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง และปลูกพืชผสม (บัว ธูปฤาษี และหญ้าแห้ว) ความหนาแน่น 16 ต้น/m^2 ผลการทดลองพบว่าน้ำที่ไหลผ่านออกจากบึงประดิษฐ์มีค่า BOD อยู่ในช่วงระหว่าง 6-30 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 68.10-93.00 % มีค่า COD อยู่ในช่วงระหว่าง 21-70 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 31.50-85.47 % มีค่า TKN อยู่ในช่วงระหว่าง 0.28-5.04 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 47.06-97.20 % มีค่า TP อยู่ในช่วงระหว่าง 0.16-0.96 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 70.86-97.20 % มีค่า Pb อยู่ในช่วงระหว่าง 0.012-0.271 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 70.86-97.54 % มีค่า Cd อยู่ในช่วงระหว่าง 0.010-0.174 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 75.44-97.88 % ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.3-4**

ตารางที่ 4.3-4 ผลทดลองการทดลองที่ 4

พารามิเตอร์	ครั้งที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BOD_{inf}	99	70	89	89	99	89	88	95	99	97
BOD_{eff}	9	7	6	29	31	21	30	30	28	29
ประสิทธิภาพ	91.25	89.76	93.00	68.10	69.19	76.97	66.48	68.42	71.72	70.62
COD_{inf}	144	147	160	155	114	136	101	102	176	120
COD_{eff}	35	21	30	26	62	32	32	70	43	48
ประสิทธิภาพ	76.00	85.47	81.25	83.01	46.15	76.47	68.25	31.50	75.45	60.00
TKN_{inf}	9.52	8.40	10.08	7.84	10.45	10.00	10.50	10.40	9.35	9.41
TKN_{eff}	5.04	1.12	0.84	0.50	0.50	0.28	0.95	0.45	0.50	0.50
ประสิทธิภาพ	47.06	86.67	91.67	93.62	95.18	97.20	90.93	95.69	94.61	94.64
TP_{inf}	2.93	3.89	1.61	3.75	3.66	1.38	1.28	1.28	1.44	1.55
TP_{eff}	0.96	0.34	0.70	0.71	0.55	0.16	0.50	0.73	0.70	0.80
ประสิทธิภาพ	67.24	91.26	56.52	81.07	84.97	88.41	60.94	42.97	51.39	48.39
Pb_{inf}	0.931	1.178	1.136	0.773	1.209	0.535	0.538	0.540	0.478	0.534
Pb_{eff}	0.271	0.127	0.114	0.088	0.075	0.067	0.041	0.025	0.012	0.044
ประสิทธิภาพ	70.86	89.20	89.96	88.60	93.82	87.43	92.47	95.46	97.54	91.81
Cd_{inf}	0.592	0.828	0.705	0.536	0.945	0.413	0.493	0.501	0.448	0.546
Cd_{eff}	0.145	0.174	0.170	0.085	0.069	0.022	0.051	0.014	0.010	0.030
ประสิทธิภาพ	75.44	79.05	75.90	84.25	92.75	94.61	89.70	97.15	97.88	94.55



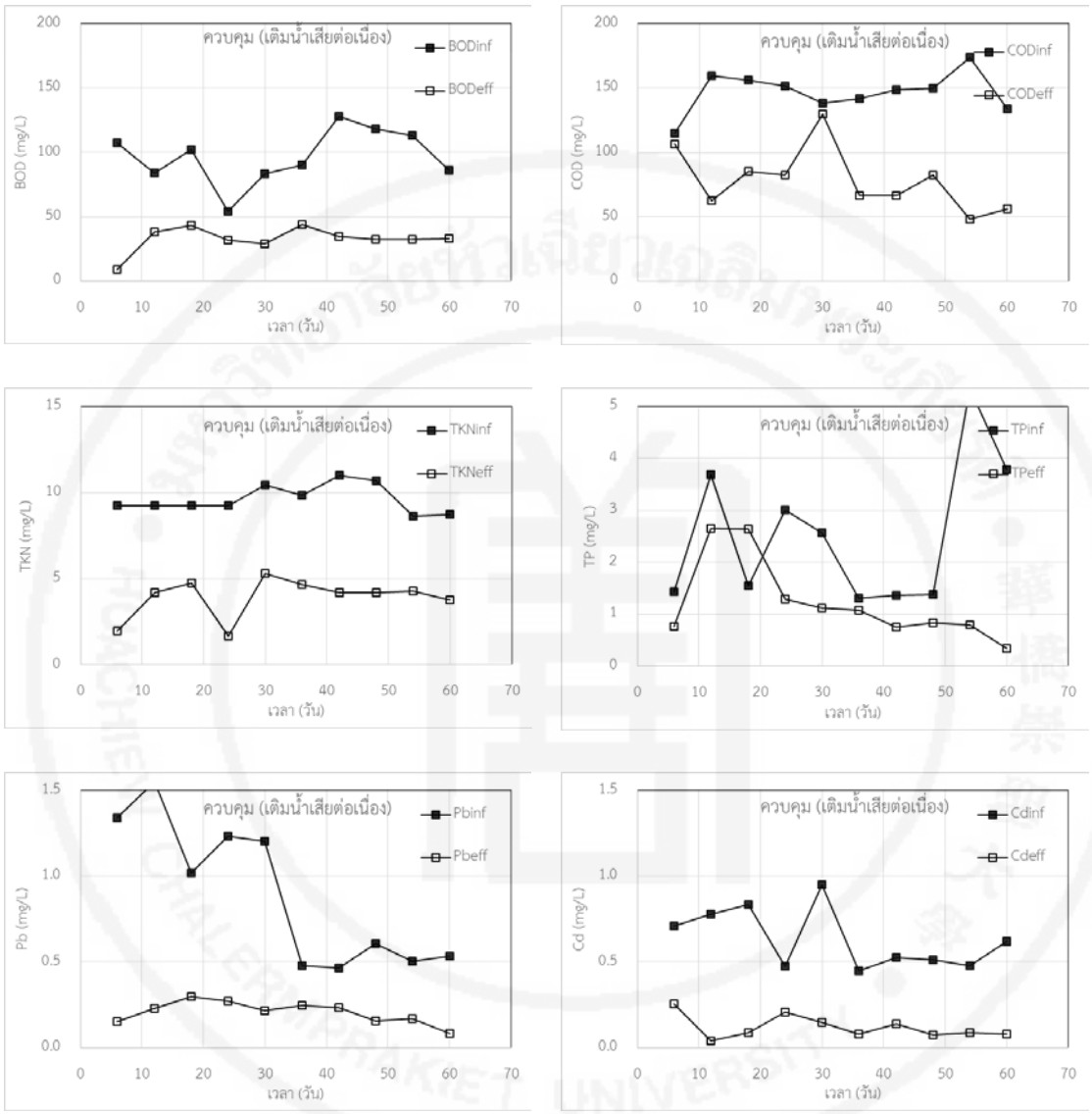
ภาพที่ 4.3-4 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 4

4.3.5. การทดลองที่ 5 ชุดควบคุม

การทดลองที่ 5 เดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง โดยไม่ปลูกพืช ผลการทดลองพบว่าน้ำที่ไหลผ่านออกจากบึงประดิษฐ์มีค่า BOD อยู่ในช่วงระหว่าง 9-44 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 41.20-73.05 % มีค่า COD อยู่ในช่วงระหว่าง 48-139 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง -0.58-72.35 % มีค่า TKN อยู่ในช่วงระหว่าง 1.96-5.32 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 48.48-81.82 % มีค่า TP อยู่ในช่วงระหว่าง 0.34-2.63 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง -69.68 – 91.01% มีค่า Pb อยู่ในช่วงระหว่าง 0.084-0.297 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 48.85-95.02 % มีค่า Cd อยู่ในช่วงระหว่าง 0.039-95.02 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 55.80-95.02 % ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.3-5**

ตารางที่ 4.3-5 ผลทดลองการทดลองที่ 5

พารามิเตอร์	ครั้งที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BOD_{inf}	107	84	102	54	83	90	128	118	113	86
BOD_{eff}	9	38	43	32	29	44	35	32	32	33
ประสิทธิภาพ	91.74	54.76	57.84	41.20	65.06	51.67	73.05	72.88	71.68	61.63
COD_{inf}	115	159	156	152	138	142	149	150	174	134
COD_{eff}	106	63	85	82	139	66	66	82	48	56
ประสิทธิภาพ	7.35	60.67	45.57	45.67	-0.58	53.11	55.38	44.92	72.35	58.08
TKN_{inf}	9.24	9.24	9.24	9.24	10.45	9.85	11.00	10.70	8.62	8.74
TKN_{eff}	1.96	4.2	4.76	1.68	5.32	4.65	4.20	4.20	4.26	3.75
ประสิทธิภาพ	78.79	54.55	48.48	81.82	49.09	52.81	61.82	60.75	50.65	57.05
TP_{inf}	1.43	3.68	1.55	3.01	2.57	1.31	1.36	1.37	5.34	3.78
TP_{eff}	0.76	2.65	2.63	1.29	1.12	1.07	0.75	0.83	0.79	0.34
ประสิทธิภาพ	46.85	27.99	-69.68	57.14	56.42	18.32	44.85	39.42	85.21	91.01
Pb_{inf}	1.341	1.550	1.021	1.232	1.20375	0.48	0.464	0.605	0.503	0.534
Pb_{eff}	0.151	0.228	0.297	0.272	0.215	0.246	0.234	0.155	0.168	0.084
ประสิทธิภาพ	88.73	85.31	70.89	77.97	82.12	48.85	49.52	74.42	66.60	84.36
Cd_{inf}	0.711	0.777	0.832	0.473	0.950	0.448	0.524	0.511	0.478	0.618
Cd_{eff}	0.254	0.039	0.088	0.209	0.149	0.077	0.140	0.073	0.087	0.080
ประสิทธิภาพ	64.26	95.02	89.40	55.80	84.37	82.76	73.27	85.66	81.73	87.14



ภาพที่ 4.3-5 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 5

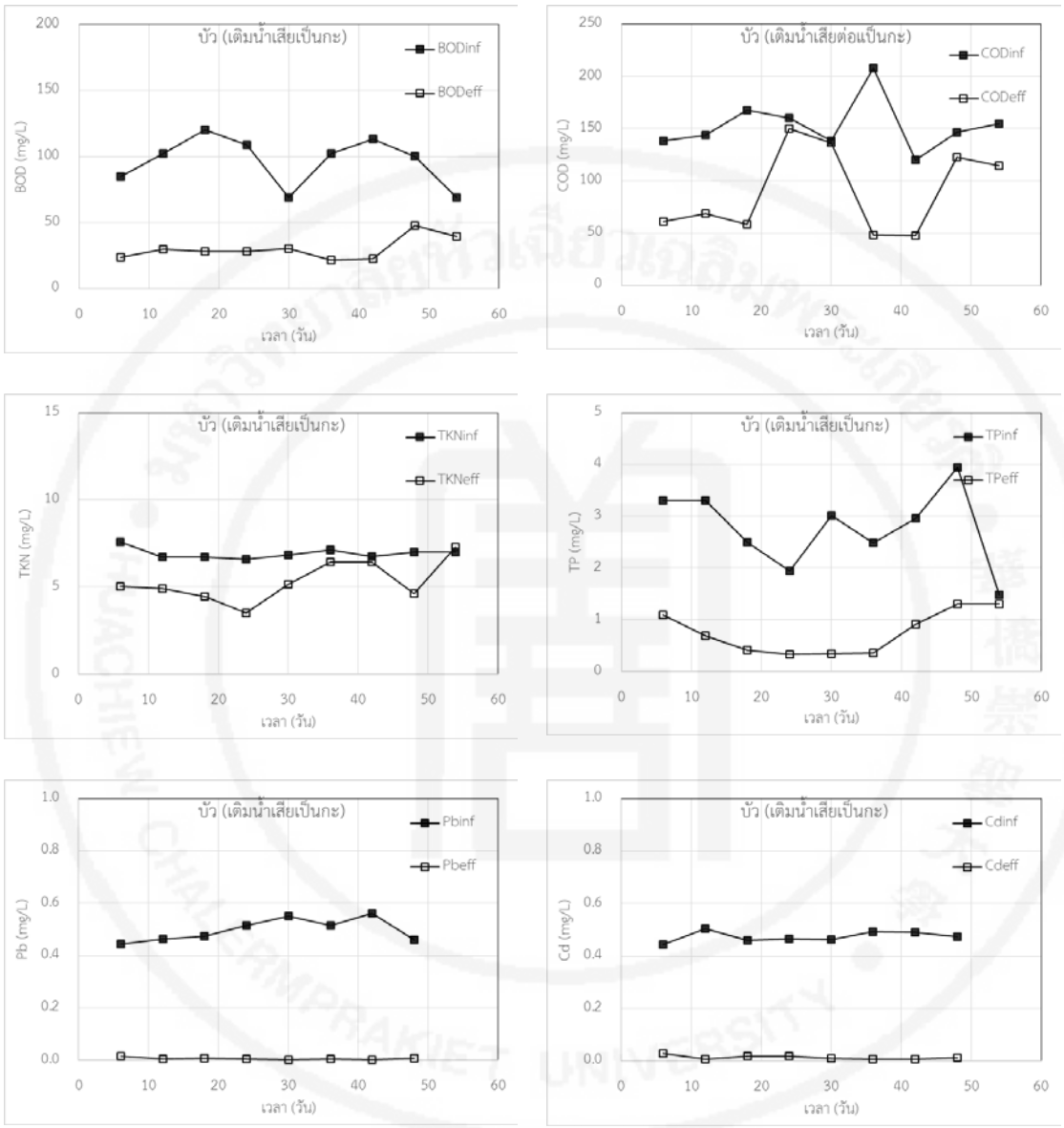
1.4 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์แบบเดินระบบเป็นกะ

1.4.1 การทดลองที่ 6 บัว

การทดลองที่ 6 เดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะ และปลูกบัวความหนาแน่น 16 ต้น/m^2 ผลการทดลองพบว่าน้ำที่ไหลผ่านออกจากบึงประดิษฐ์มีค่า BOD อยู่ในช่วงระหว่าง 22-48 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 52.50-80.09 % มีค่า COD อยู่ในช่วงระหว่าง 47-150 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 1.73-76.92 % มีค่า TKN อยู่ในช่วงระหว่าง 3.50-6.44 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 4.59-46.81 % มีค่า TP อยู่ในช่วงระหว่าง 0.33-1.30 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 66.67-88.41 % มีค่า Pb อยู่ในช่วงระหว่าง 0.003-0.015 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 96.56-99.50 % มีค่า Cd อยู่ในช่วงระหว่าง 0.007-0.030 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 93.35-98.53 % ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.4-1**

ตารางที่ 4.4-1 ผลทดลองการทดลองที่ 6

พารามิเตอร์	ครั้งที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
BOD_{inf}	85	102	120	109	69	102	113	100
BOD_{eff}	24	30	28	28	30	22	23	48
ประสิทธิภาพ	72.35	71.08	76.67	74.31	56.52	78.92	80.09	52.50
COD_{inf}	138	144	168	160	138	208	120	146
COD_{eff}	61	69	58	150	136	48	47	122
ประสิทธิภาพ	56.07	52.22	65.24	6.50	1.73	76.92	60.67	16.39
TKN_{inf}	7.56	6.72	6.72	6.58	6.86	7.14	6.75	7.00
TKN_{eff}	5.04	4.90	4.48	3.50	5.18	6.44	6.44	4.62
ประสิทธิภาพ	33.33	27.08	33.33	46.81	24.49	9.80	4.59	34.00
TP_{inf}	3.30	3.30	2.50	1.95	3.02	2.49	2.96	3.94
TP_{eff}	1.10	0.70	0.42	0.33	0.35	0.36	0.91	1.30
ประสิทธิภาพ	66.67	78.79	83.20	83.08	88.41	85.54	69.26	67.01
Pb_{inf}	0.443	0.463	0.475	0.516	0.551	0.515	0.560	0.460
Pb_{eff}	0.015	0.005	0.007	0.004	0.003	0.005	0.003	0.007
ประสิทธิภาพ	96.56	98.92	98.53	99.27	99.50	99.03	99.51	98.42
Cd_{inf}	0.444	0.504	0.459	0.465	0.462	0.492	0.491	0.475
Cd_{eff}	0.030	0.007	0.018	0.018	0.011	0.008	0.008	0.012
ประสิทธิภาพ	93.35	98.53	96.15	96.20	97.69	98.38	98.38	97.41



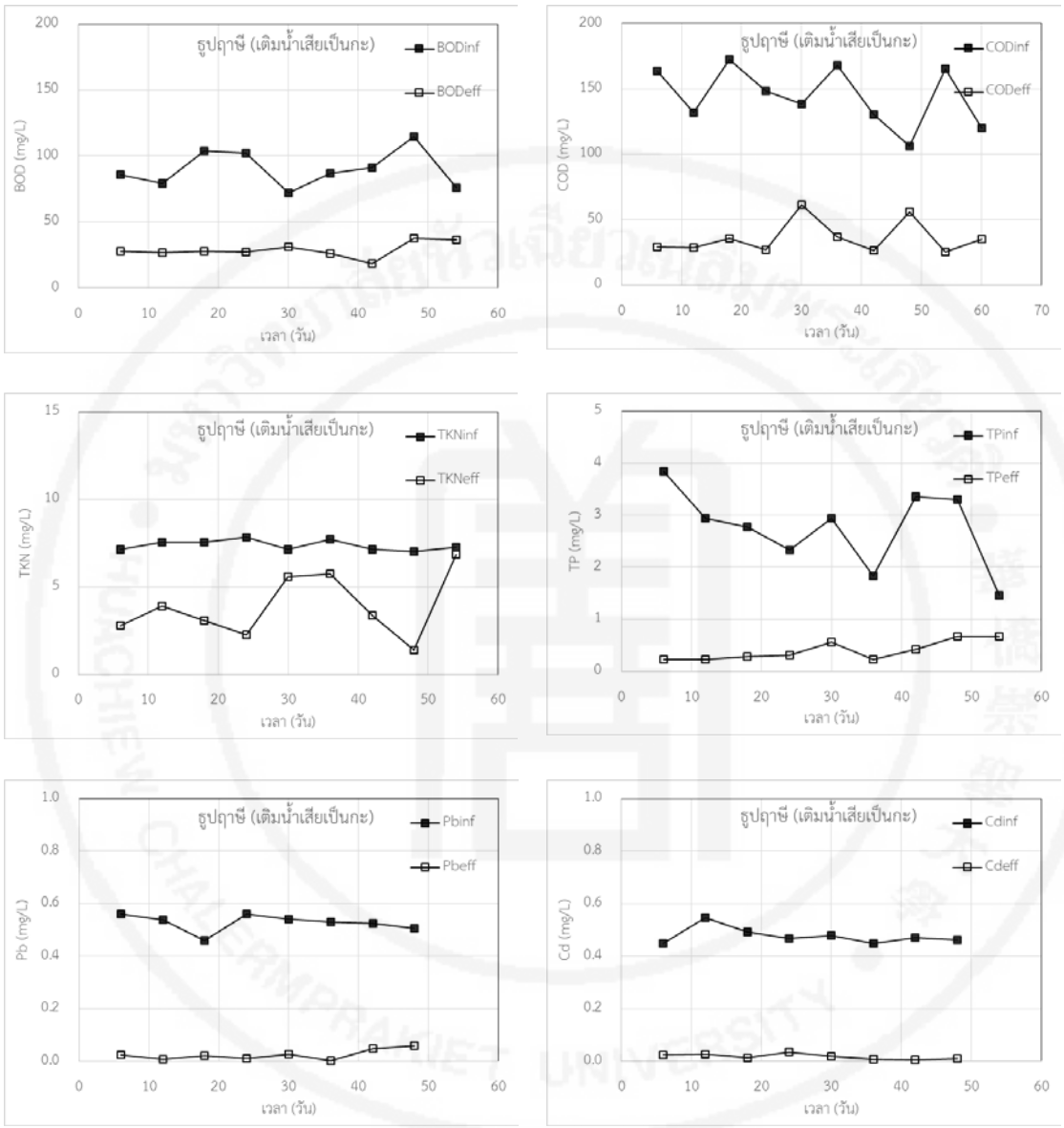
ภาพที่ 4.4-1 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 6

1.4.2 การทดลองที่ 7 ธูปฤาษี

การทดลองที่ 7 เดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะ และปลูกธูปฤาษีความหนาแน่น 16 ต้น/m^2 ผลการทดลองพบว่าน้ำที่ไหลผ่านออกจากบึงประดิษฐ์มีค่า BOD อยู่ในช่วงระหว่าง 19-38 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 50.66-83.91 % มีค่า COD อยู่ในช่วงระหว่าง 18-74 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 55.07-86.39 % มีค่า TKN อยู่ในช่วงระหว่าง 1.40-5.74 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 21.57-80.00 % มีค่า TP อยู่ในช่วงระหว่าง 0.22-0.67 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 79.70-94.27 % มีค่า Pb อยู่ในช่วงระหว่าง 0.008-0.061 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 87.97-99.48 % มีค่า Cd อยู่ในช่วงระหว่าง 0.005-0.036 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 92.32-98.99 % ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.4-2**

ตารางที่ 4.4-2 ผลทดลองการทดลองที่ 7

พารามิเตอร์	ครั้งที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
BOD_{inf}	86	79	104	102	72	87	91	115
BOD_{eff}	28	27	28	27	31	26	19	38
ประสิทธิภาพ	65.19	74.52	72.55	62.50	64.37	70.99	83.91	50.66
COD_{inf}	128	128	178	176	166	192	135	173
COD_{eff}	34	48	53	72	74	26	18	45
ประสิทธิภาพ	73.13	62.50	70.40	59.09	55.07	86.25	86.39	74.07
TKN_{inf}	7.14	7.56	7.56	7.84	7.14	7.70	7.14	7.00
TKN_{eff}	2.80	3.92	3.08	2.24	5.60	5.74	3.36	1.40
ประสิทธิภาพ	60.78	48.15	59.26	71.43	21.57	25.45	52.94	80.00
TP_{inf}	3.84	2.94	2.77	2.33	2.94	1.84	3.36	3.30
TP_{eff}	0.22	0.23	0.28	0.31	0.56	0.23	0.42	0.67
ประสิทธิภาพ	94.27	92.18	89.89	86.70	80.95	87.50	87.50	79.70
Pb_{inf}	0.559	0.539	0.460	0.560	0.542	0.530	0.525	0.505
Pb_{eff}	0.025	0.008	0.021	0.009	0.028	0.003	0.048	0.061
ประสิทธิภาพ	95.62	98.52	95.38	98.35	94.88	99.48	90.90	87.97
Cd_{inf}	0.449	0.546	0.491	0.468	0.478	0.450	0.471	0.463
Cd_{eff}	0.024	0.027	0.014	0.036	0.019	0.008	0.005	0.010
ประสิทธิภาพ	94.63	95.09	97.06	92.32	95.97	98.23	98.99	97.81



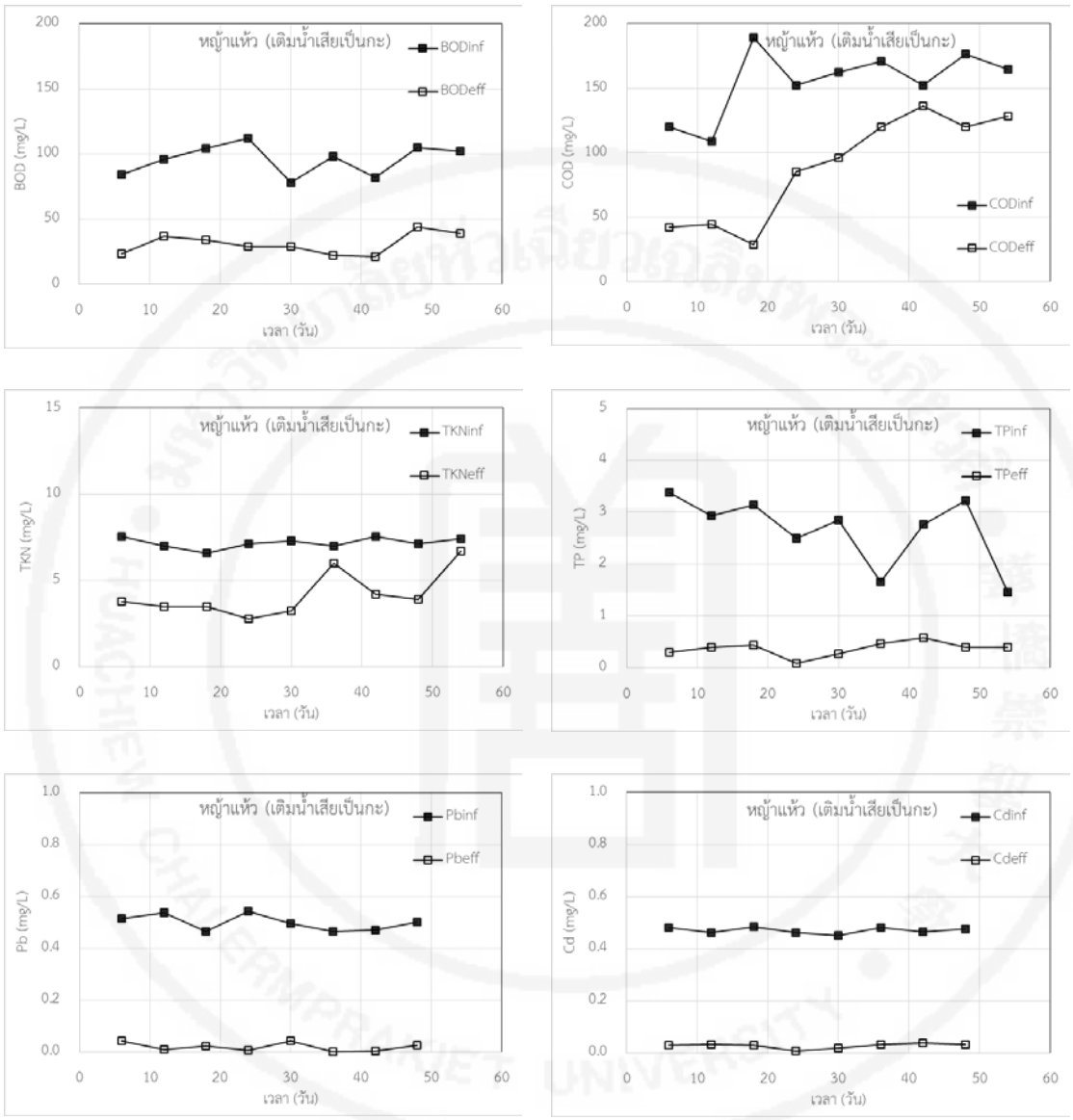
ภาพที่ 4.4-2 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 7

1.4.3 การทดลองที่ 8 หญ้าแห้ว

การทดลองที่ 8 เดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะ และปลูกหญ้าแห้วความหนาแน่น 16 ต้น/m^2 ผลการทดลองพบว่าน้ำที่ไหลผ่านออกจากบึงประดิษฐ์มีค่า BOD อยู่ในช่วงระหว่าง 21-44 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 58.10-77.55 % มีค่า COD อยู่ในช่วงระหว่าง 29-136 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 10.53-84.75 % มีค่า TKN อยู่ในช่วงระหว่าง 2.80-6.02 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 14.00-60.78 % มีค่า TP อยู่ในช่วงระหว่าง 0.08-0.57 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 71.52-96.80 % มีค่า Pb อยู่ในช่วงระหว่าง 0.002-0.044 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 91.16-99.57 % มีค่า Cd อยู่ในช่วงระหว่าง 0.006-0.037 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 92.02-98.62 % ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.4-3**

ตารางที่ 4.4-3 ผลทดลองการทดลองที่ 8

พารามิเตอร์	ครั้งที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
BOD_{inf}	84	96	104	112	78	98	82	105
BOD_{eff}	24	37	34	29	29	22	21	44
ประสิทธิภาพ	72.02	61.98	67.31	74.11	62.82	77.55	74.39	58.10
COD_{inf}	120	109	189	152	162	170	152	176
COD_{eff}	42	45	29	86	96	120	136	120
ประสิทธิภาพ	64.67	58.82	84.75	43.68	40.89	29.58	10.53	31.82
TKN_{inf}	7.56	7.00	6.58	7.14	7.28	7.00	7.56	7.14
TKN_{eff}	3.78	3.50	3.50	2.80	3.22	6.02	4.20	3.92
ประสิทธิภาพ	50.00	50.00	46.81	60.78	55.77	14.00	44.44	45.10
TP_{inf}	3.38	2.93	3.14	2.50	2.84	1.65	2.76	3.22
TP_{eff}	0.30	0.40	0.44	0.08	0.27	0.47	0.57	0.40
ประสิทธิภาพ	91.12	86.35	85.99	96.80	90.49	71.52	79.35	87.58
Pb_{inf}	0.515	0.536	0.465	0.542	0.495	0.465	0.470	0.500
Pb_{eff}	0.044	0.008	0.024	0.007	0.044	0.002	0.005	0.026
ประสิทธิภาพ	91.50	98.51	94.84	98.66	91.16	99.57	98.99	94.90
Cd_{inf}	0.481	0.461	0.484	0.461	0.451	0.480	0.465	0.476
Cd_{eff}	0.028	0.032	0.028	0.006	0.016	0.031	0.037	0.030
ประสิทธิภาพ	94.09	93.01	94.12	98.62	96.44	93.62	92.02	93.68



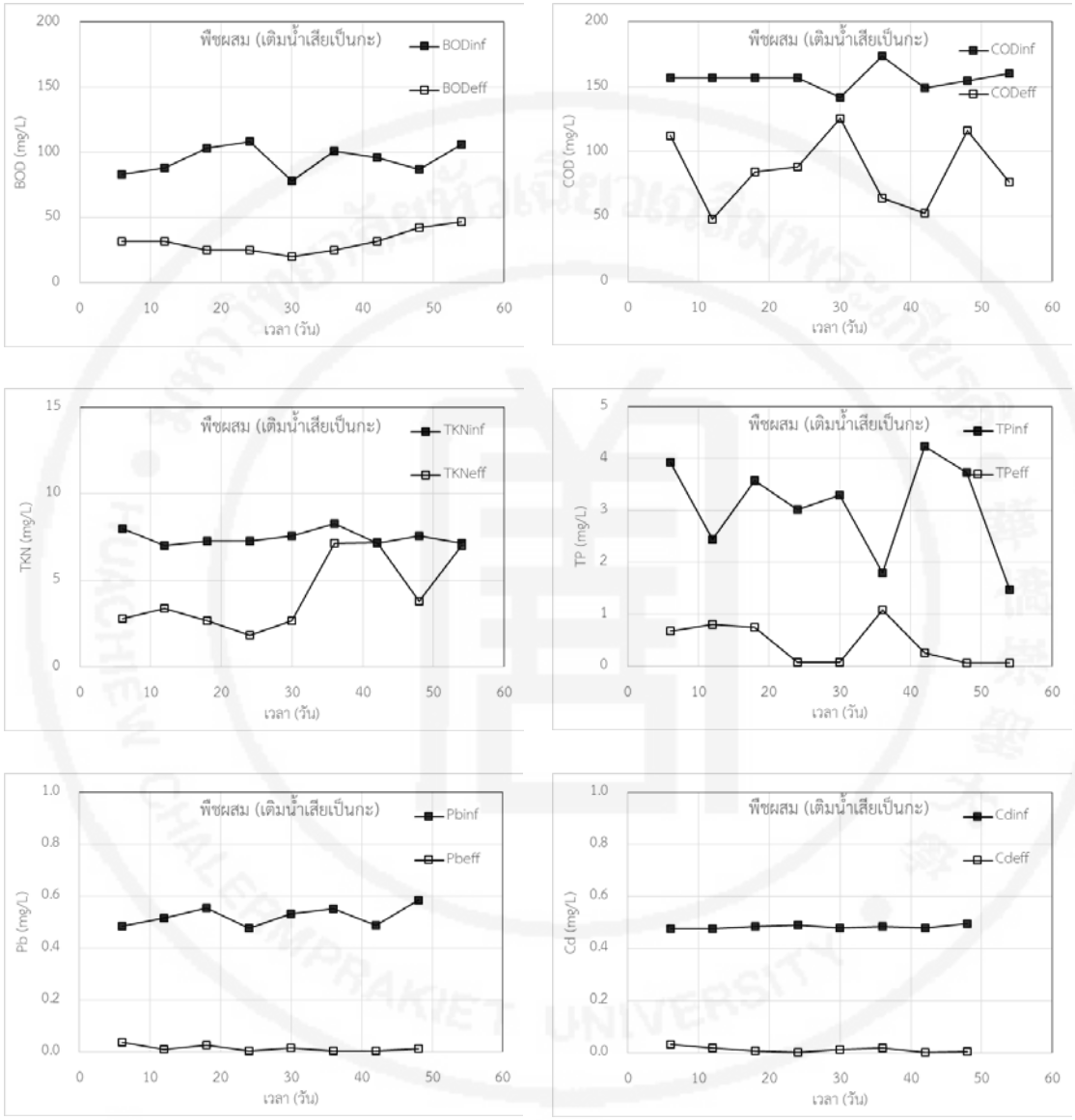
ภาพที่ 4.4-3 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 8

1.4.4 การทดลองที่ 9 พืชผสม (บัว ธูปฤาษี หญ้าแห้ว)

การทดลองที่ 9 เดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะ และปลูกหญ้าผสม (บัว ธูปฤาษี และหญ้าแห้ว) ความหนาแน่น 16 ต้น/m^2 ผลการทดลองพบว่าน้ำที่ไหลผ่านออกจากบึงประดิษฐ์มีค่า BOD อยู่ในช่วงระหว่าง 20-43 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 51.15-75.73 % มีค่า COD อยู่ในช่วงระหว่าง 48-126 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 11.30-69.39 % มีค่า TKN อยู่ในช่วงระหว่าง 1.82-7.20 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง -0.84-75.00 % มีค่า TP อยู่ในช่วงระหว่าง 0.07-1.08 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 40.00-98.39 % มีค่า Pb อยู่ในช่วงระหว่าง 0.004-0.028 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 95.05-99.11 % มีค่า Cd อยู่ในช่วงระหว่าง 0.002-0.031 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 96.12-99.69 % ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.4-4**

ตารางที่ 4.4-4 ผลทดลองการทดลองที่ 9

พารามิเตอร์	ครั้งที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
BOD_{inf}	83	88	103	108	78	101	96	87
BOD_{eff}	32	32	25	25	20	25	32	43
ประสิทธิภาพ	62.05	63.64	75.73	76.85	74.36	75.25	66.67	51.15
COD_{inf}	157	157	157	157	142	174	149	154
COD_{eff}	112	48	84	88	126	64	53	116
ประสิทธิภาพ	28.57	69.39	46.17	43.88	11.30	63.13	64.52	24.61
TKN_{inf}	7.98	7.00	7.28	7.28	7.56	8.26	7.14	7.56
TKN_{eff}	2.80	3.36	2.66	1.82	2.66	7.14	7.20	3.78
ประสิทธิภาพ	64.91	52.00	63.46	75.00	64.81	13.56	-0.84	50.00
TP_{inf}	3.93	2.44	3.58	3.01	3.30	1.80	4.23	3.73
TP_{eff}	0.67	0.80	0.75	0.08	0.07	1.08	0.26	0.06
ประสิทธิภาพ	82.95	67.21	79.05	97.34	97.88	40.00	93.85	98.39
Pb_{inf}	0.4850	0.5150	0.5550	0.4750	0.5320	0.5500	0.4882	0.5850
Pb_{eff}	0.038	0.009	0.028	0.004	0.017	0.004	0.005	0.013
ประสิทธิภาพ	92.27	98.30	95.05	99.11	96.90	99.36	99.03	97.78
Cd_{inf}	0.475	0.476	0.486	0.491	0.478	0.483	0.480	0.497
Cd_{eff}	0.031	0.017	0.006	0.002	0.012	0.019	0.002	0.005
ประสิทธิภาพ	93.56	96.40	98.80	99.58	97.55	96.12	99.69	98.94



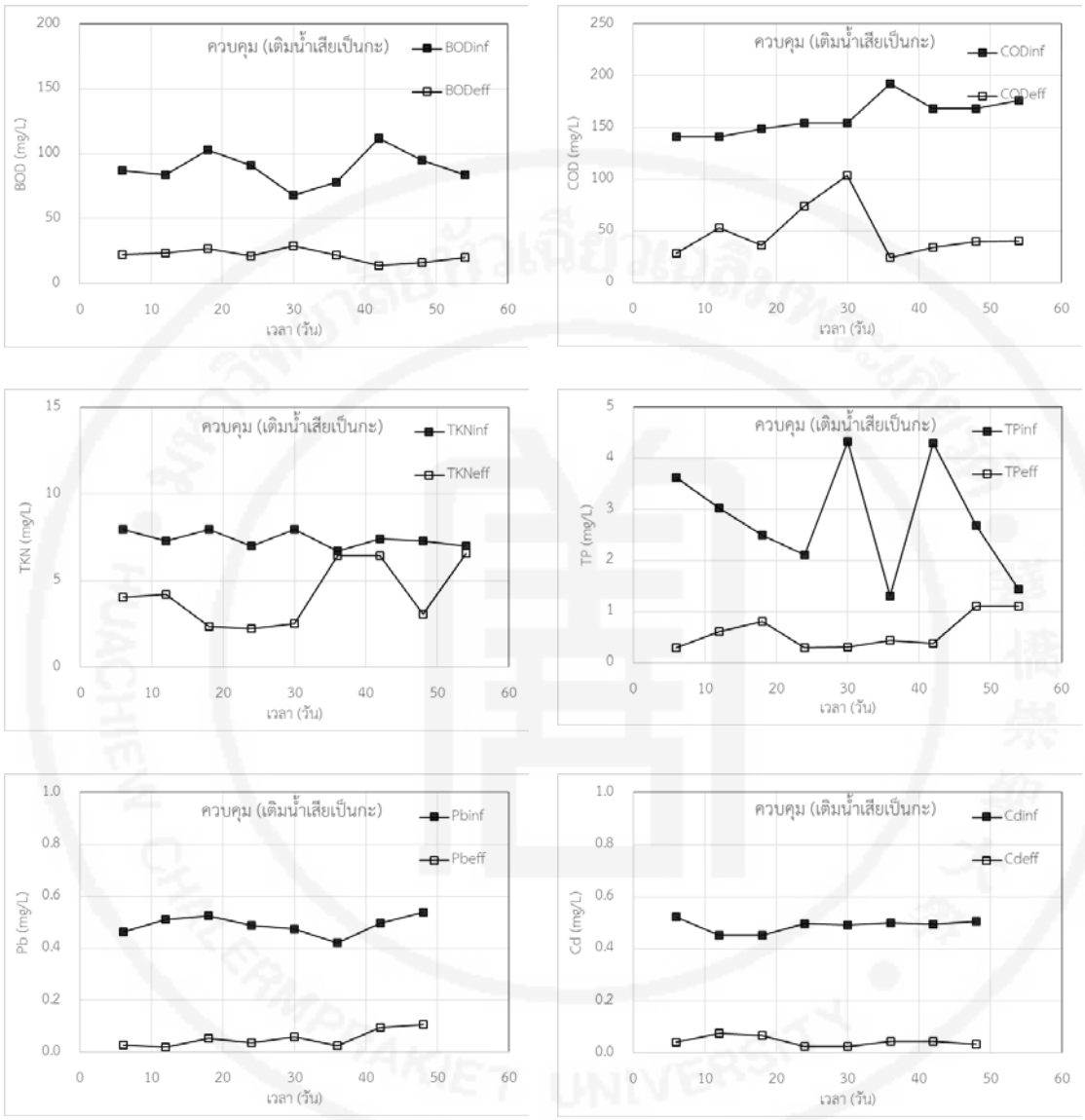
ภาพที่ 4.4-4 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 9

1.4.5 การทดลองที่ 10 ชุดควบคุม

การทดลองที่ 10 เดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะ โดยไม่ปลูกพืช ผลการทดลองพบว่าน้ำที่ไหลผ่านออกจากบึงประดิษฐ์มีค่า BOD อยู่ในช่วงระหว่าง 14-29 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 57.35-87.50 % มีค่า COD อยู่ในช่วงระหว่าง 24-104 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 32.64-87.50 % มีค่า TKN อยู่ในช่วงระหว่าง 2.24-6.44 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 4.17-70.18 % มีค่า TP อยู่ในช่วงระหว่าง 0.29-1.10 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 58.96-92.82 % มีค่า Pb อยู่ในช่วงระหว่าง 0.021-0.106 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 80.32-95.95 % มีค่า Cd อยู่ในช่วงระหว่าง 0.025-0.075 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 83.34-94.96 % ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.4-5**

ตารางที่ 4.4-5 ผลทดลองการทดลองที่ 10

พารามิเตอร์	ครั้งที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
BOD_{inf}	87	84	103	91	68	78	112	95
BOD_{eff}	23	24	27	21	29	22	14	16
ประสิทธิภาพ	74.14	72.02	73.79	76.92	57.35	71.79	87.50	83.16
COD_{inf}	141	141	149	154	154	192	168	168
COD_{eff}	29	53	36	74	104	24	34	40
ประสิทธิภาพ	79.55	62.50	75.54	51.81	32.64	87.50	79.76	76.19
TKN_{inf}	7.98	7.28	7.98	7.00	7.98	6.72	7.42	7.28
TKN_{eff}	4.06	4.20	2.38	2.24	2.52	6.44	6.44	3.08
ประสิทธิภาพ	49.12	42.31	70.18	68.00	68.42	4.17	13.21	57.69
TP_{inf}	3.63	3.03	2.49	2.11	4.32	1.30	4.30	2.68
TP_{eff}	0.29	0.60	0.80	0.29	0.31	0.43	0.37	1.10
ประสิทธิภาพ	92.01	80.20	67.87	86.26	92.82	66.92	91.40	58.96
Pb_{inf}	0.463	0.512	0.525	0.490	0.475	0.420	0.497	0.540
Pb_{eff}	0.029	0.021	0.054	0.038	0.059	0.025	0.095	0.106
ประสิทธิภาพ	93.85	95.95	89.81	92.30	87.63	94.11	80.94	80.32
Cd_{inf}	0.522	0.452	0.453	0.496	0.490	0.500	0.494	0.504
Cd_{eff}	0.042	0.075	0.068	0.026	0.025	0.045	0.045	0.034
ประสิทธิภาพ	91.87	83.34	85.04	94.81	94.96	90.98	90.97	93.29



ภาพที่ 4.4-5 ลักษณะสมบัติก่อนและหลังการบำบัด ชุดทดลองที่ 10

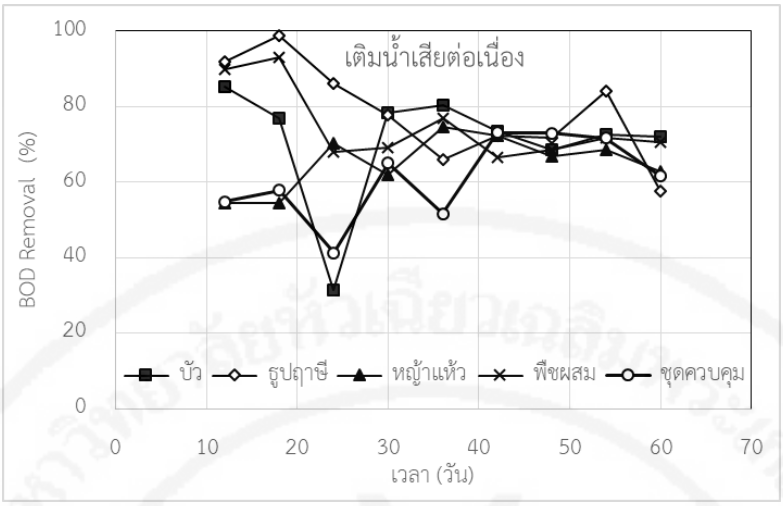
1.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์

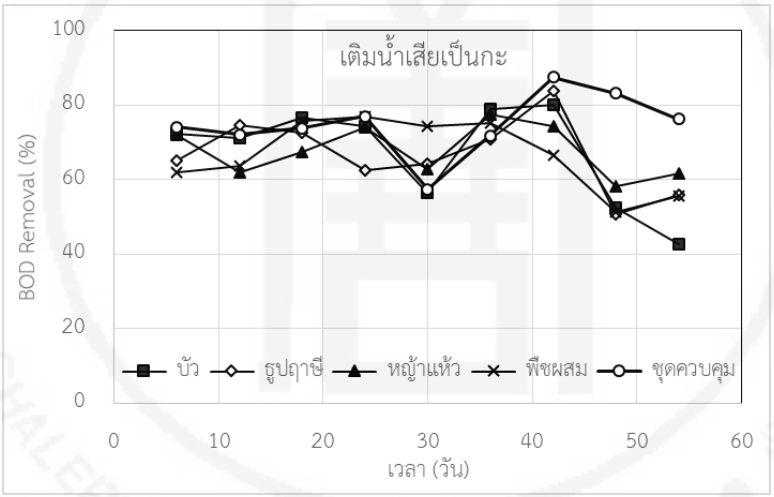
1.5.1 การบำบัดสารอินทรีย์

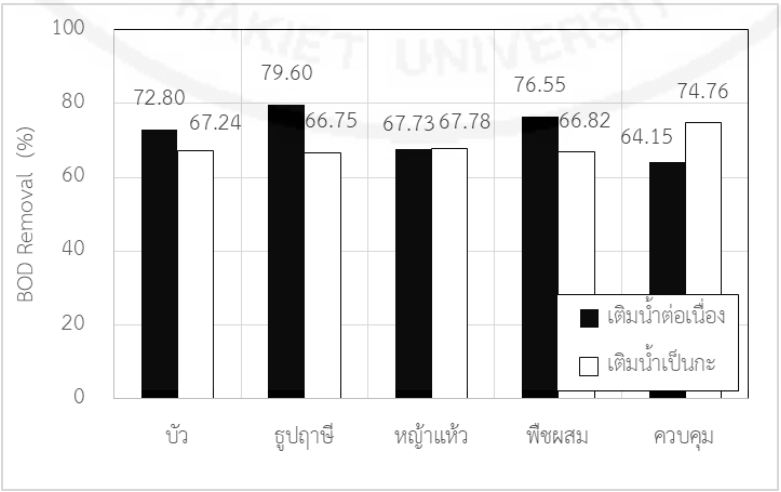
ผลการทดลองระบบบึงประดิษฐ์แบบเติมน้ำต่อเนื่อง พบว่า ในการบำบัด BOD ของในช่วงเริ่มต้น ชุดทดลองที่ปลูก ธูปฤาษี พืชผสม และ บัว มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน โดยที่ธูปฤาษี มีประสิทธิภาพสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ พืชผสมและบัว ตามลำดับ หลังจากนั้นพบว่าประสิทธิภาพค่อยๆ ลดต่ำลงจนกระทั่งมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาในการทดลองเกิน 30 วัน ในขณะที่ชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแห้วและชุดควบคุมมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำในช่วงแรก และประสิทธิภาพมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งคงที่เมื่อเวลาในการทดลองเกิน 40 วัน ดังแสดงใน**ภาพที่ 4.5-1** ส่วนการบำบัด COD ชุดทดลองแต่ละชุดมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่อนข้างคงที่ โดยที่ธูปฤาษี บัว และพืชผสมมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าหญ้าแห้วและชุดควบคุม ดังแสดงใน**ภาพที่ 4.5-2**

ผลการทดลองระบบบึงประดิษฐ์แบบเติมน้ำเป็นกะ พบว่า ชุดควบคุมที่ไม่มีการปลูกพืชมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD สูงกว่าชุดทดลองอื่น ส่วนชุดทดลองอื่นๆ มีประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกัน ค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง ดังแสดงใน**ภาพที่ 4.5-1** เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัด COD พบว่าชุดทดลองธูปฤาษีและชุดควบคุมมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าชุดทดลองอื่น แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการบำบัดของทุกชุดการทดลองจะมีประสิทธิภาพที่ค่อนข้างแปรปรวนมากดังแสดงใน**ภาพที่ 4.5-2**

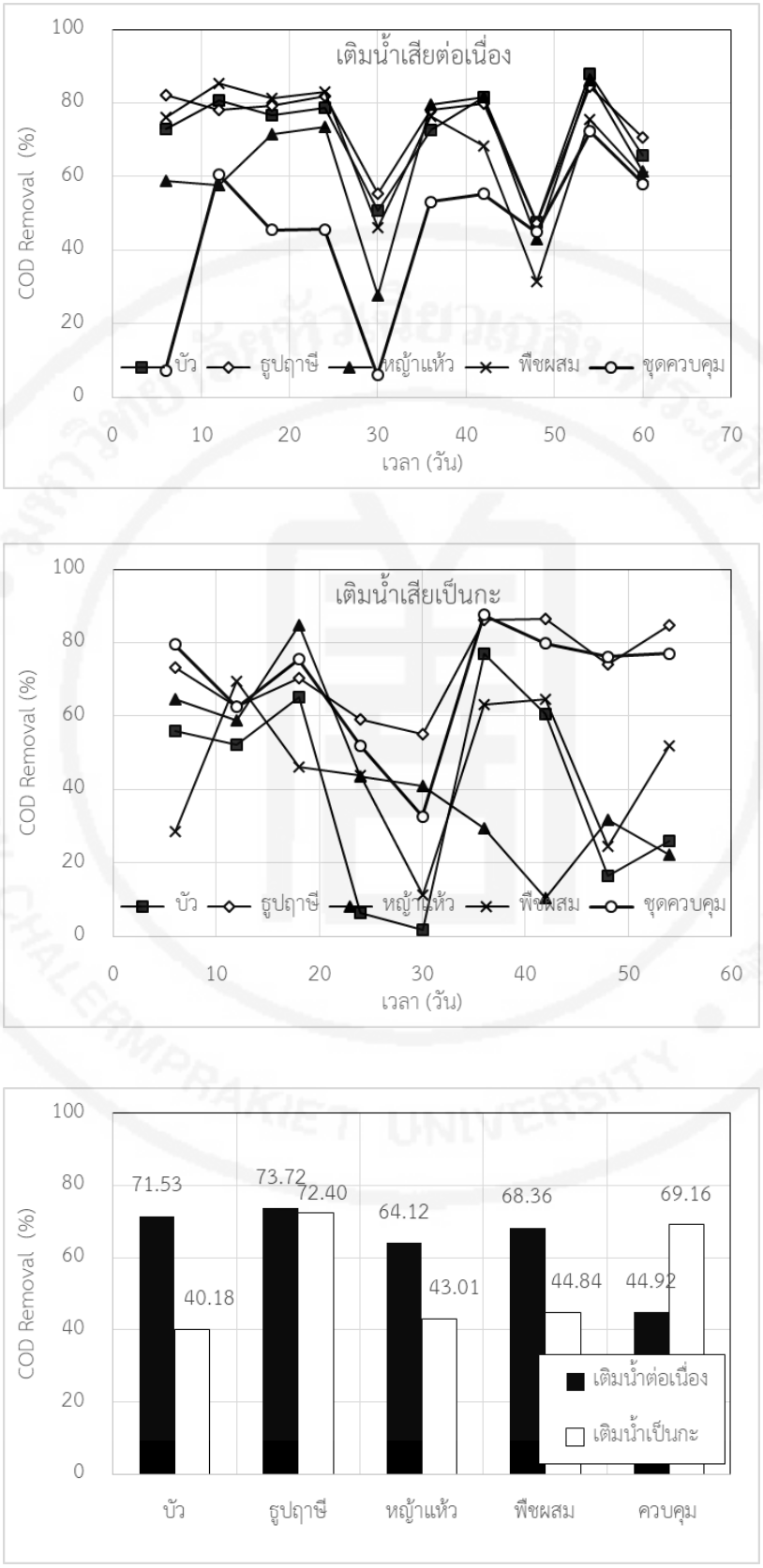
เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดเฉลี่ยของ BOD และ COD (**ภาพที่ 4.5-1 และภาพที่ 4.5-2**) พบว่า การเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะ และธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์สูงสุด ยกเว้นชุดควบคุมที่ไม่มีการปลูกพืชที่พบว่ามีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการทดลองแบบเติมน้ำเป็นกะที่มีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD สูงที่สุด และมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD รองจากธูปฤาษี







ภาพที่ 4.5-1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด BOD ของบึงประดิษฐ์



ภาพที่ 4.5-2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด COD ของบึงประดิษฐ์

1.5.2 การบำบัดธาตุอาหาร

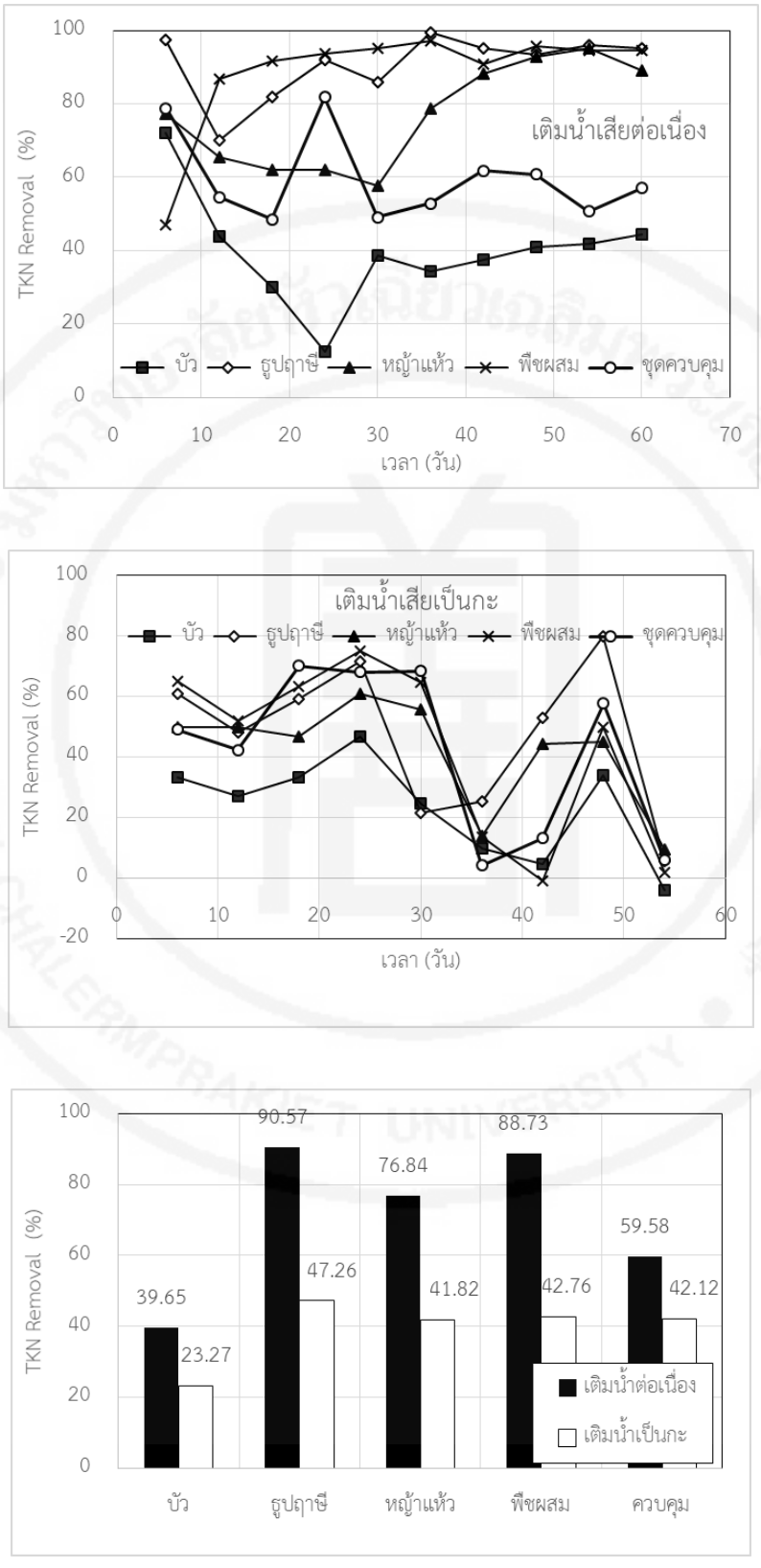
(1) ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน

การทดลองเดินระบบบึงประดิษฐ์แบบเติมน้ำต่อเนื่องและแบบเป็นกะ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วทุก ๆ 6 วัน เป็นระยะเวลา 60 วันและ นำมาวิเคราะห์ไนโตรเจนในรูปของ TKN เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจน

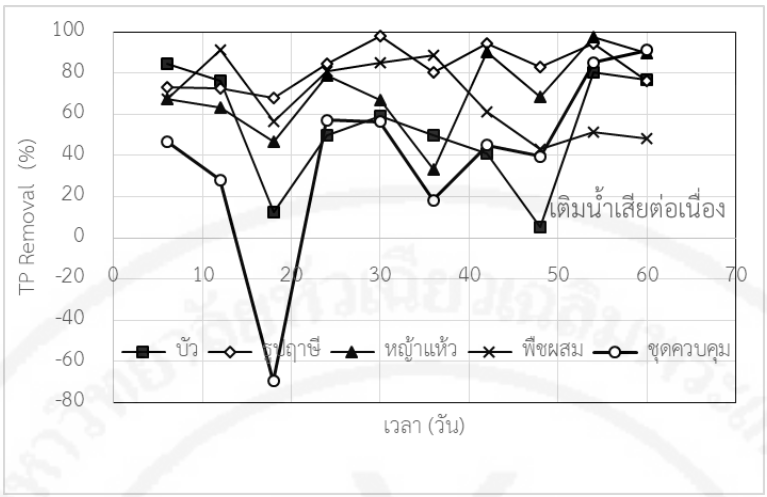
จากการทดลองพบว่า การเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 39.65-90.57 ซึ่งสูงกว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะในทุกชุดการทดลองที่มีประสิทธิภาพอยู่ในช่วงร้อยละ 23.27-47.26 (**ภาพที่ 4.5-3**)

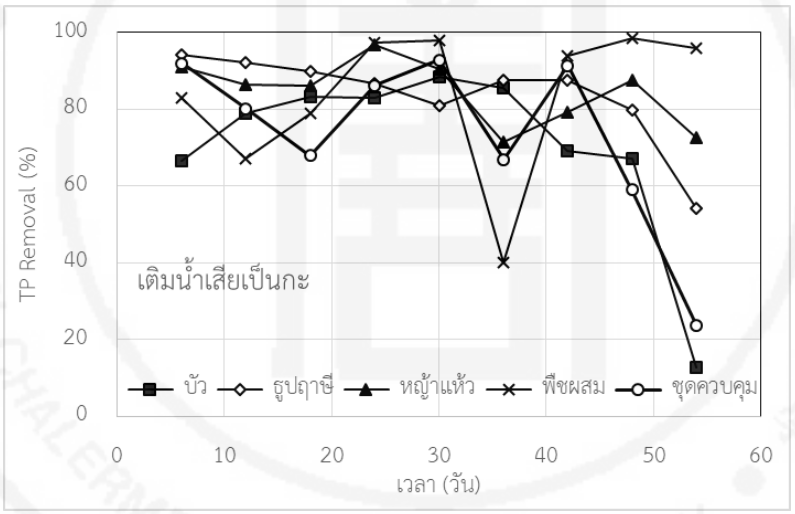
(2) การบำบัดฟอสฟอรัส

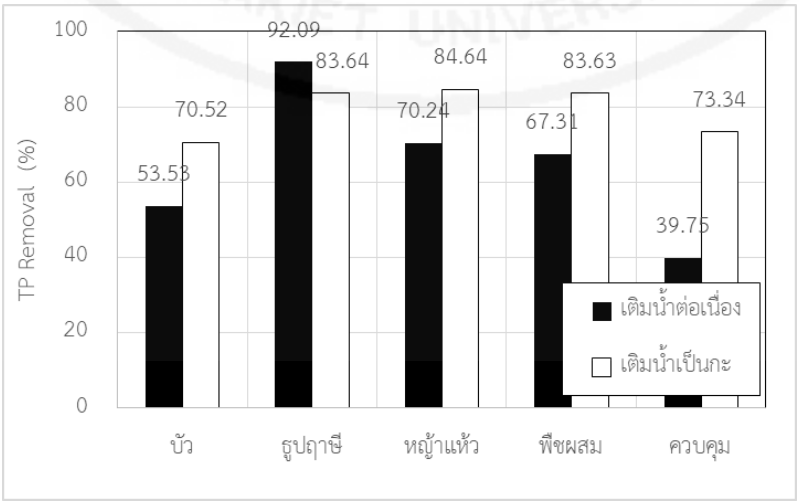
จากการทดลองเดินระบบบึงประดิษฐ์แบบเติมน้ำต่อเนื่องและแบบเป็นกะ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วทุกๆ 6 วัน เป็นระยะเวลา 60 วันและ นำมาวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในรูปของ TP เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัส พบว่า การเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องของชุดทดลองบัว ธูปฤาษี หญ้าแห้ว พืชผสม และชุดควบคุม มีประสิทธิภาพในการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 53.53, 92.09, 70.24, 67.31 และ 39.75 ตามลำดับ ส่วนกรณีเติมน้ำแบบเป็นกะมีประสิทธิภาพในการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 70.52, 83.64, 84.64, 83.63, 73.74 (**ภาพที่ 4.3-4**)



ภาพที่ 4.5-3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TKN ของบึงประดิษฐ์







ภาพที่ 4.5-4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TP ของบึงประดิษฐ์

1.5.3 การบำบัดโลหะหนัก

(1) การบำบัดตะกั่ว (Lead, Pb)

การทดลองเดินระบบบึงประดิษฐ์แบบเติมน้ำต่อเนื่องและแบบเป็นกะ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดทุก ๆ 6 วัน เป็นระยะเวลา 60 วันและ นำมาวิเคราะห์ Pb เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่ว จากการทดลองพบว่า

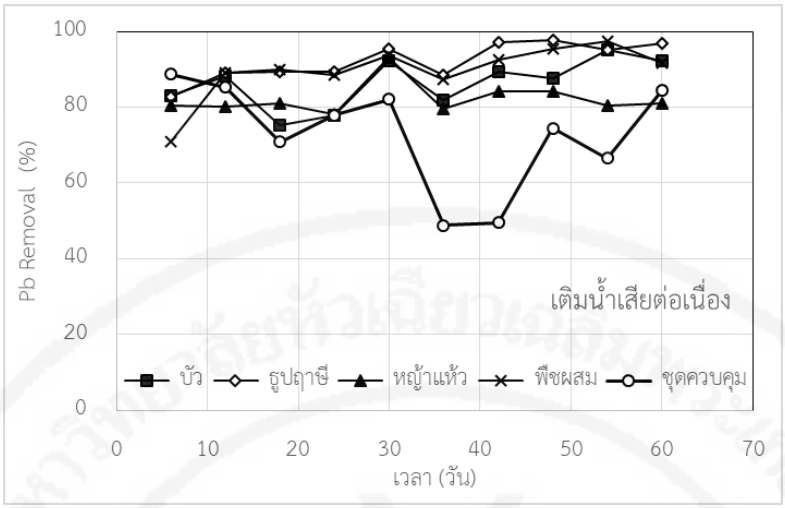
การเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง พบว่า แต่ละชุดทดลองประสิทธิภาพค่อยข้างใกล้เคียงกันทั้ง 4 ชุดทดลอง (ร้อยละ 82.28-92.09) ยกเว้นชุดควบคุมที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าชุดทดลองอื่นๆ อย่างชัดเจน (ร้อยละ 72.88) ส่วนระบบบึงประดิษฐ์แบบเติมน้ำเป็นกะ ประสิทธิภาพจะมีความใกล้เคียงกันใกล้เคียงกันทั้ง 4 ชุดทดลอง (ร้อยละ 95.14-98.72) ยกเว้นชุดควบคุมที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าชุดทดลองอื่น ๆ อย่างชัดเจน (ร้อยละ 89.36) ดังแสดงใน**ภาพที่ 4.5-5**

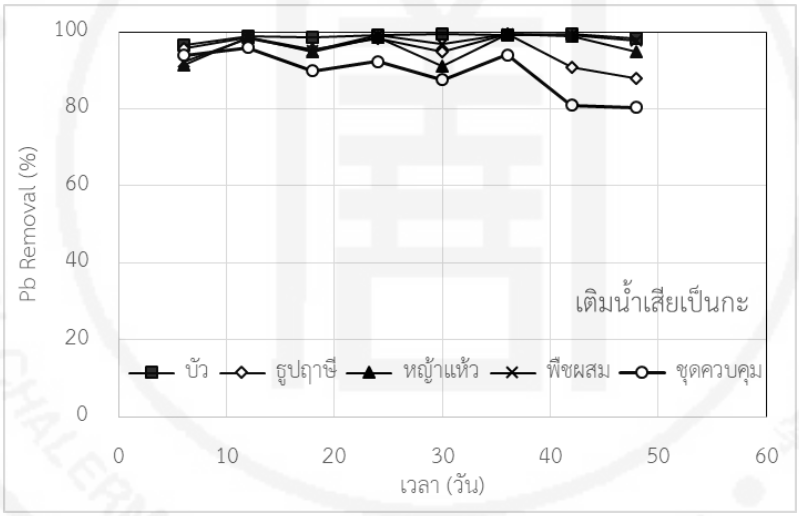
(2) การบำบัดแคดเมียม (Cadmium, Cd)

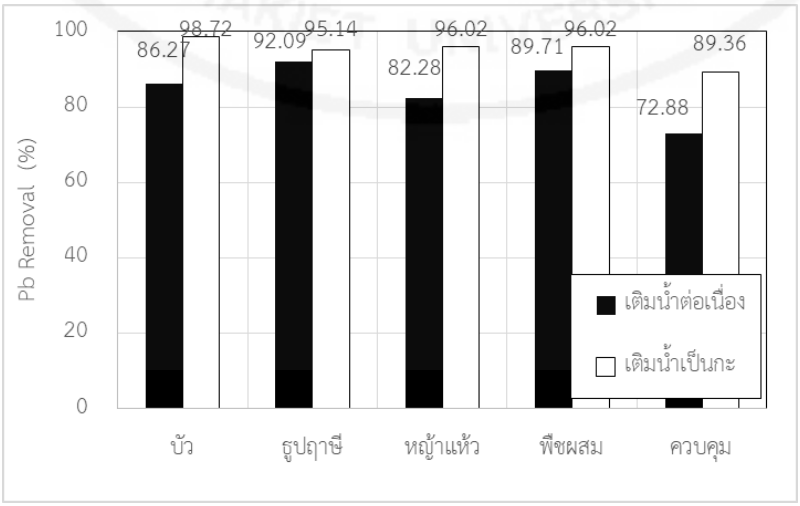
จากการทดลองเดินระบบบึงประดิษฐ์แบบเติมน้ำต่อเนื่องและแบบเป็นกะ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดทุก ๆ 6 วัน เป็นระยะเวลา 60 วันและ นำมาวิเคราะห์ Cd เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียม จากการทดลองพบว่า

การเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง พบว่า แต่ละชุดทดลองประสิทธิภาพค่อยข้างใกล้เคียงกันทั้ง 4 ชุดทดลอง (ร้อยละ 85.58-94.36) ยกเว้นชุดควบคุมที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าชุดทดลองอื่น ๆ อย่างชัดเจน (ร้อยละ 79.94) ดังแสดงใน**ภาพที่ 4.5-6**

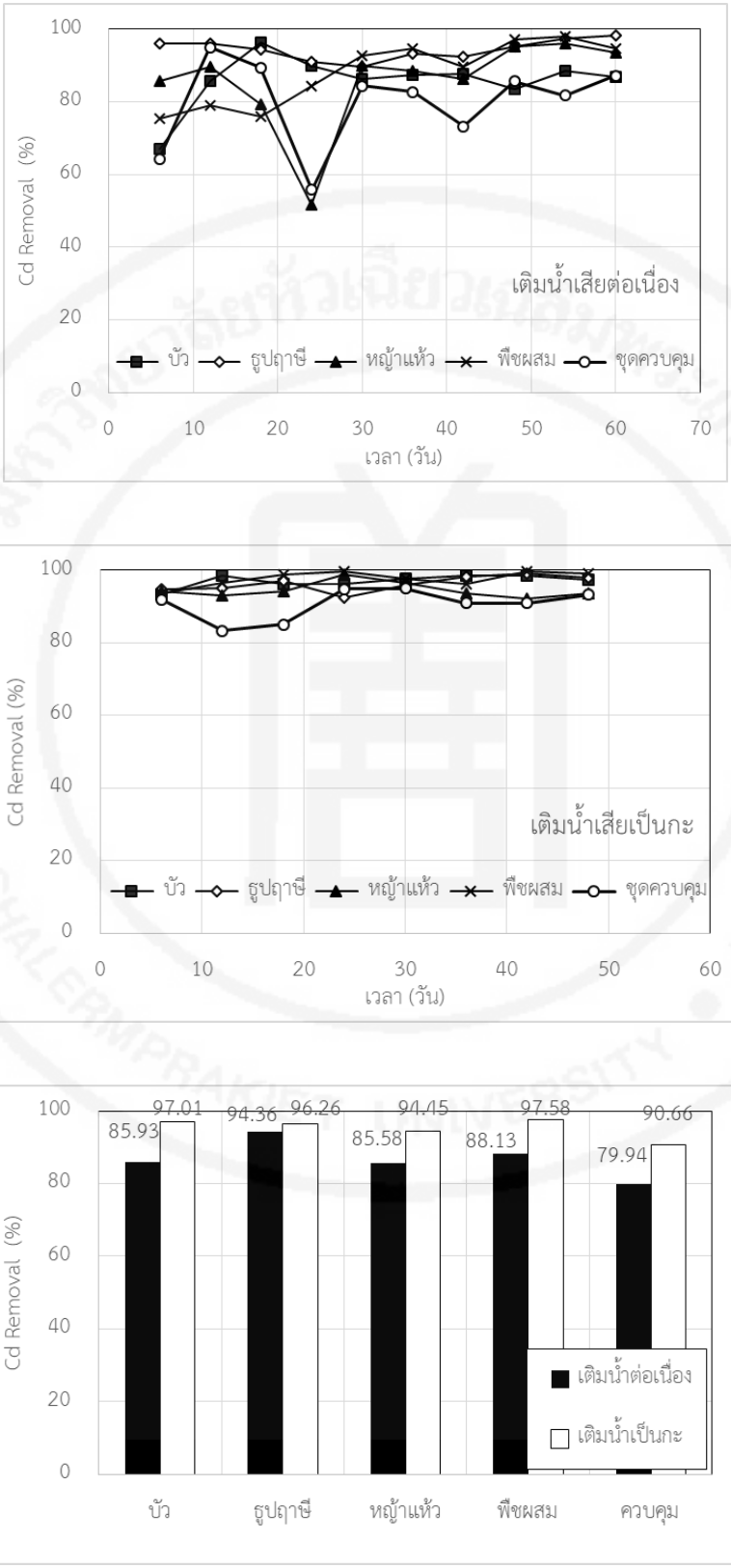
ส่วนการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะ ประสิทธิภาพจะมีความใกล้เคียงกันใกล้เคียงกันทั้ง 4 ชุดทดลอง (ร้อยละ 94.45-97.58) ยกเว้นชุดควบคุมที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าชุดทดลองอื่นๆ อย่างชัดเจน (ร้อยละ 90.66) ซึ่งเมื่อนำประสิทธิภาพเฉลี่ยมาเปรียบเทียบกันทั้งแบบเติมน้ำต่อเนื่องและเติมน้ำเป็นกะ พบว่า ธูปฤาษีในระบบบึงประดิษฐ์แบบเติมน้ำเป็นกะมีประสิทธิภาพสูงที่สุด (97.58) ดังแสดงใน**ภาพที่ 4.5-6**







ภาพที่ 4.6-1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด Pb ของบึงประดิษฐ์



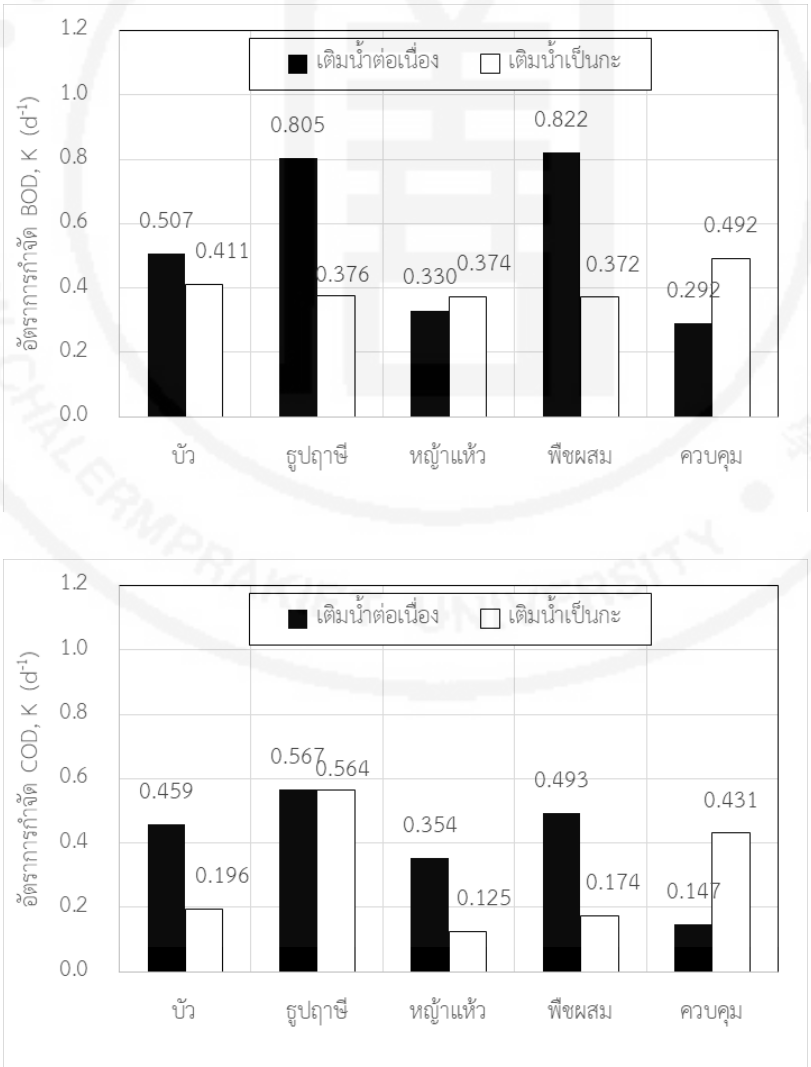
ภาพที่ 4.6-2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด Cd ของบึงประดิษฐ์

1.6 เปรียบเทียบอัตราการกำจัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารของระบบบึงประดิษฐ์

1.6.1 อัตราการกำจัดสารอินทรีย์

เมื่อพิจารณาอัตราการกำจัด BOD ของระบบบึงประดิษฐ์แบบเติมน้ำต่อเนื่อง พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกพืชผสมและธูปฤาษี มีอัตราการกำจัด BOD ใกล้เคียงกัน ซึ่งสูงกว่าชุดทดลองอื่นๆ ได้แก่ 0.822 และ 0.805 d^{-1} ตามลำดับ และเมื่อพิจาณากรณีเติมน้ำเป็นกะ พบว่า ชุดควบคุมที่ไม่มีการปลูกพืชมีอัตราการกำจัด BOD สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองอื่น เท่ากับ 0.431 d^{-1} ดังแสดงใน**ภาพที่ 4.6-1**

เมื่อพิจารณาอัตราการกำจัด COD ของระบบบึงประดิษฐ์แบบเติมน้ำต่อเนื่อง พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกธูปฤาษีและพืชผสม มีอัตราการกำจัด COD สูงที่สุดเป็น 2 ลำดับแรก และอัตราการกำจัด BOD สูงกว่าอัตราการกำจัด COD ในทุกชุดการทดลอง **ดังแสดงในภาพที่ 4.6-1**

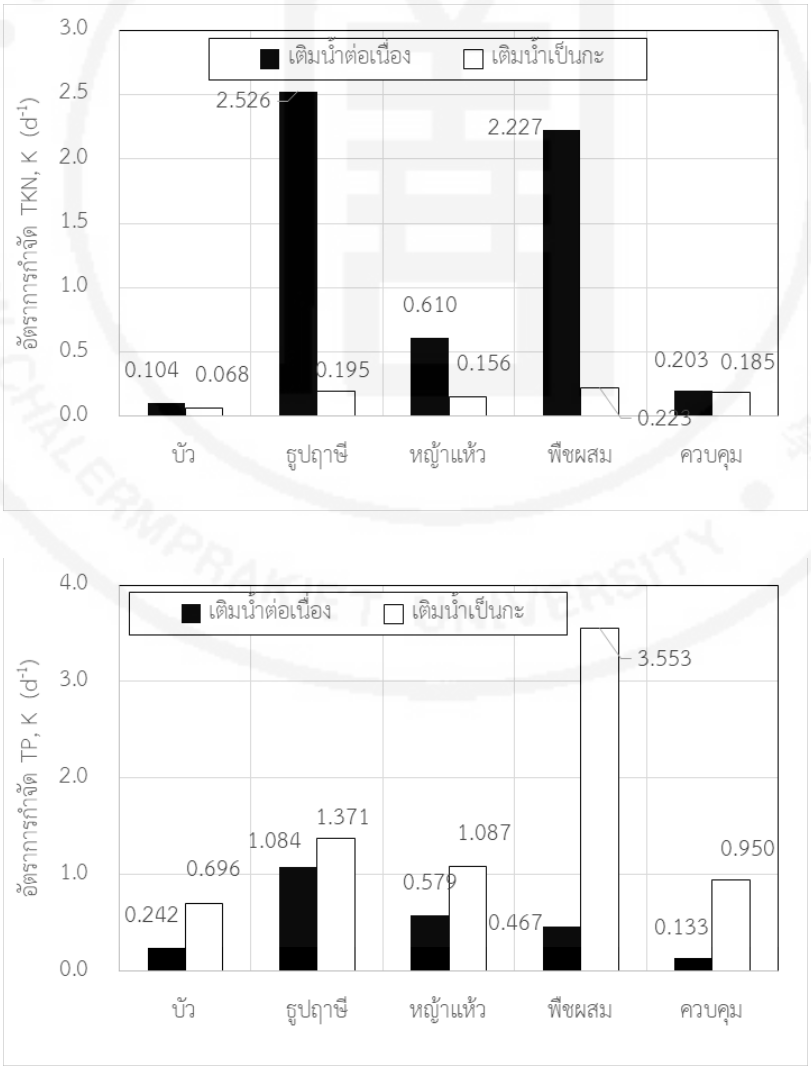


ภาพที่ 4.6-1 เปรียบเทียบอัตราการกำจัดสารอินทรีย์

1.6.2 อัตราการกำจัดธาตุอาหาร

อัตราการกำจัดไนโตรเจนของการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องสูงกว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะในทุกชุดการทดลอง กล่าวคือการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องมีอัตราการกำจัดไนโตรเจนอยู่ช่วงระหว่าง 0.104-2.526 day^{-1} ส่วนกรณีเติมน้ำแบบเป็นกะมีอัตราการกำจัดไนโตรเจนอยู่ในช่วงระหว่าง 0.068-0.223 day^{-1} (**ภาพที่ 4.6-2**)

การเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องของชุดทดลองบัว ธูปฤาษี หญ้าแห้ว พืชผสม และชุดควบคุม มีอัตราการกำจัดฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.242, 1.084, 0.579, 0.467 และ 0.133 day^{-1} ตามลำดับ ส่วนการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะมีอัตราการกำจัดฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.696, 1.371, 1.087, 3.553, 0.950 day^{-1} ซึ่งพบว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะมีอัตราการกำจัดฟอสฟอรัสสูงกว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำต่ำเนื่อง (**ภาพที่ 4.6-2**)



ภาพที่ 4.6-2 เปรียบเทียบอัตราการกำจัดธาตุอาหาร

1.7 ระยะเวลาการบำบัดที่เหมาะสม

คณะผู้วิจัยได้พิจารณาเลือกใช้อัตราการกำจัด BOD และ TKN ที่ได้จากผลการทดลองมาคำนวณหาระยะเวลาในการบำบัดที่เหมาะสมสำหรับ 2 กรณี ได้แก่ 1) การบำบัดน้ำคลองก่อนนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยง และ 2) การบำบัดน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงก่อนระบายลงคลอง เนื่องจากระบบที่ทำการทดลองสามารถบำบัดโลหะหนักและฟอสฟอรัสได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในระยะเวลา 6 วันอยู่แล้ว ดังนั้นจึงพิจารณาเฉพาะพารามิเตอร์ BOD และ TKN ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ (**ตารางที่ 4.7-1** ถึง **ตารางที่ 4.7-4**)

(1) กรณีบำบัดน้ำคลองก่อนนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยง

กรณีเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องพบว่า ระยะเวลาการบำบัดที่สามารถบำบัดน้ำให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของชุดทดลองที่ปลูกบัว ธูปฤาษี หญ้าแห้ว พืชผสม และชุดควบคุม เท่ากับ 66, 6, 12, 6, 34 วัน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า***ธูปฤาษีและพืชผสม***ต้องการระยะเวลาในการบำบัดต่ำที่สุดเท่ากับ 6 วัน

กรณีเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะ พบว่า ระยะเวลาการบำบัดที่สามารถบำบัดน้ำให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของชุดทดลองที่ปลูกบัว ธูปฤาษี หญ้าแห้ว พืชผสม และชุดควบคุม เท่ากับ 100, 35, 44, 30, 37 วัน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า***พืชผสม***ต้องการระยะเวลาในการบำบัดต่ำที่สุด 30 วัน

ตารางที่ 4.7-1 ระยะเวลาในการบำบัดสำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนนำไปใช้เพาะเลี้ยง กรณีเติมน้ำต่อเนื่อง

พืช	การบำบัด BOD			การบำบัด TKN		
	อัตราการบำบัด (K, day^{-1})	ระยะเวลาการบำบัด (day)		อัตราการบำบัด (K, day^{-1})	ระยะเวลาการบำบัด (day)	
		การคำนวณ	ใช้		การคำนวณ	ใช้
บัว	0.507	1.0	6	0.104	65.3	66
ธูปฤาษี	**0.805**	**0.6**	**6**	**2.526**	**2.7**	**6**
หญ้าแห้ว	0.330	1.5	6	0.610	11.2	12
พืชผสม	**0.822**	**0.6**	**6**	**2.227**	**3.1**	**6**
ควบคุม	0.292	1.7	6	0.203	33.5	34

หมายเหตุ : 1. น้ำผิวดินที่เข้าบึงประดิษฐ์มีค่าความสกปกรกเท่ากับค่าความสกปรกเฉลี่ยที่ได้จากการศึกษาคุณภาพน้ำผิวดิน
2. น้ำผิวดินผ่านการบำบัดมีค่าความสกปรกผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ตารางที่ 4.7-2 ระยะเวลาในการบำบัดสำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนนำไปใช้เพาะเลี้ยง กรณีเติมน้ำเป็นกะ

พืช	การบำบัด BOD			การบำบัด TKN		
	อัตราการบำบัด (K, day^{-1})	ระยะเวลาการบำบัด (day)		อัตราการบำบัด (K, day^{-1})	ระยะเวลาการบำบัด (day)	
		การคำนวณ	ใช้		การคำนวณ	ใช้
บัว	0.411	1.2	6	0.068	100	100
ธูป	0.376	1.3	6	0.195	34.9	35
หญ้าแห้ว	0.374	1.3	6	0.156	43.7	44
พืชผสม	**0.372**	**1.3**	**6**	0.223	30	**30**
ควบคุม	0.492	1.0	6	0.185	36.8	37

หมายเหตุ : 1. น้ำผิวดินที่เข้าบึงประดิษฐ์มีค่าความสกปกรกเท่ากับค่าความสกปรกเฉลี่ยที่ได้จากการศึกษาคุณภาพน้ำผิวดิน
2. น้ำผิวดินผ่านการบำบัดมีค่าความสกปรกผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

(2) กรณีบำบัดน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงก่อนระบายทิ้งลงคลอง

กรณีเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องพบว่า ระยะเวลาการบำบัดที่สามารถบำบัดน้ำให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดของชุดทดลองที่ปลูกบัว ธูปฤาษี หญ้าแห้ว พืชผสม และชุดควบคุม เท่ากับ 26, 6, 6, 6, 15 วัน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ***ธูปฤาษี หญ้าแห้ว และพืชผสม***ต้องการระยะเวลาในการบำบัดต่ำที่สุดเท่ากับ 6 วัน

กรณีเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะ พบว่า ระยะเวลาการบำบัดที่สามารถบำบัดน้ำให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของชุดทดลองที่ปลูกบัว ธูปฤาษี หญ้าแห้ว พืชผสม และชุดควบคุม เท่ากับ 39, 14, 17, 12, 15 วัน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า***พืชผสม*** ต้องการระยะเวลาในการบำบัดต่ำที่สุด 12 วัน

ตารางที่ 4.7-3 ระยะเวลาในการบำบัดสำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยง กรณีเติมน้ำต่อเนื่อง

พืช	การบำบัด BOD			การบำบัด TKN			การบำบัด TP		
	อัตราการบำบัด (K, day^{-1})	ระยะเวลาการบำบัด (day)		อัตราการบำบัด (K, day^{-1})	ระยะเวลาการบำบัด (day)		อัตราการบำบัด (K, day^{-1})	ระยะเวลาการบำบัด (day)	
		การคำนวณ	ใช้		การคำนวณ	ใช้		การคำนวณ	ใช้
บัว	0.507	1.0	6	0.104	25.3	26	0.242	8.3	9
ธูป	0.805	0.6	**6**	2.526	1.0	**6**	1.084	1.8	**6**
หญ้าแห้ว	**0.330**	**1.5**	**6**	**0.610**	**4.3**	**6**	**0.579**	**3.5**	**6**
พืชผสม	**0.822**	**0.6**	**6**	**2.227**	**1.2**	**6**	**0.467**	**4.3**	**6**
ควบคุม	0.292	1.7	6	0.203	13.0	13	0.133	15.0	15

หมายเหตุ : 1. น้ำผิวดินที่เข้าบึงประดิษฐ์มีค่าความสกปกรกเท่ากับค่าความสกปรกเฉลี่ยที่ได้จากการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด

2. น้ำผิวดินผ่านการบำบัดมีค่าความสกปรกผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด

ตารางที่ 4.7-4 ระยะเวลาในการบำบัดสำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยง กรณีเติมน้ำเป็นกะ

พืช	การบำบัด BOD			การบำบัด TKN			การบำบัด TP		
	อัตราการบำบัด (K, day^{-1})	ระยะเวลาการบำบัด (day)		อัตราการบำบัด (K, day^{-1})	ระยะเวลาการบำบัด (day)		อัตราการบำบัด (K, day^{-1})	ระยะเวลาการบำบัด (day)	
		การคำนวณ	ใช้		การคำนวณ	ใช้		การคำนวณ	ใช้
บัว	0.411	1.2	6	0.068	39.0	39	0.696	2.9	6
ธูป	0.376	1.3	6	0.195	13.5	14	1.371	1.5	6
หญ้าแห้ว	0.374	1.3	6	0.156	16.9	17	1.087	1.8	6
พืชผสม	**0.372**	**1.3**	**6**	**0.223**	**11.8**	**12**	**3.553**	**0.6**	**6**
ควบคุม	0.492	1.0	6	0.185	14.3	15	0.950	2.1	6

หมายเหตุ : 1. น้ำผิวดินที่เข้าบึงประดิษฐ์มีค่าความสกปกรกเท่ากับค่าความสกปรกเฉลี่ยที่ได้จากการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด

2. น้ำผิวดินผ่านการบำบัดมีค่าความสกปรกผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด

บทที่ 5
สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ลักษณะสมบัติของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด

น้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดมีค่า pH ค่อนข้างเป็นกลางมีค่าอยู่ระหว่าง 6.56-8.36 มี DO อยู่ในช่วง 0.39-8.22 mg/L, COD อยู่ในช่วง 64-144 mg/L, TKN อยู่ในช่วง 0.84-9.52 mg/L, TP อยู่ในช่วง 1.17-1.64 mg/L, Pb อยู่ในช่วง 0.033-0.198 ppm และ Cd อยู่ในช่วง 0.007-0.137 ppm

5.1.2 ลักษณะสมบัติของน้ำในคลอง

น้ำในคลองโดยรอบพื้นที่บ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดมีค่า pH อยู่ระหว่าง 7.22-7.41 มี DO อยู่ในช่วงระหว่าง 2.87-3.86 mg/L COD อยู่ระหว่าง 48-116 mg/L TKN อยู่ระหว่าง 5.40-7.47 mg/L TP อยู่ระหว่าง 1.53-5.93 mg/L Pb อยู่ระหว่าง 0.016 -0.205 ppm และ Cd อยู่ระหว่าง 0.127-0.132 ppm

5.1.3 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์

(1) การเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง

การทดลองเดินระบบบึงประดิษฐ์แบบเติมน้ำต่อเนื่องโดยใช้พืช 3 ชนิด คือ บัว ธูปฤาษี และหญ้าแห้ว นำมาปลูกในชุดทดลองทั้งหมด 5 ชุดทดลอง ดังนี้ ชุดทดลองที่ 1 บัว ชุดทดลองที่ 2 ธูปฤาษี ชุดทดลองที่ 3 หญ้าแห้ว ชุดทดลองที่ 4 พืชผสม ชุดทดลองที่ 5 ชุดควบคุม และเก็บตัวอย่างน้ำเข้าและออกทุกๆ 6 วันต่อเนื่องเป็นเวลา 48 วัน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดทั้งหมด 6 พารามิเตอร์ จากการทดลอง พบว่า

(1.1) ประสิทธิภาพการบำบัด BOD ธูปฤาษีมีประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 79.60 รองลงมาคือ พืชผสม บัว หญ้าแห้ว และชุดควบคุม คิดเป็นร้อยละ 76.55, 72.80, 67.73, และ 64.15 ตามลำดับ

(1.2) ประสิทธิภาพการบำบัด COD ธูปฤาษีมีประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 73.72 รองลงมาคือ บัว พืชผสม หญ้าแห้ว และชุดควบคุม คิดเป็นร้อยละ 71.53, 68.36, 64.12 และ 44.92 ตามลำดับ

(1.3) ประสิทธิภาพการบำบัด TKN ธูปฤาษีมีประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงที่สุด คิดเป็นร้อย

ละ 90.57 รองลงมาคือ พืชผสม หญ้าแห้ว ชุดควบคุม และบัว คิดเป็นร้อยละ 76.84, 88.73, 59.58 และ 39.65 ตามลำดับ

(1.4) ประสิทธิภาพการบำบัด TP ธูปฤาษีมีประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 92.09 รองลงมาคือ หญ้าแห้ว พืชผสม บัว และชุดควบคุม คิดเป็นร้อยละ 70.24, 67.31, 53.53 และ 39.75 ตามลำดับ

(1.5) ประสิทธิภาพการบำบัด Pb ธูปฤาษีมีประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 92.09 รองลงมาคือ พืชผสม บัว หญ้าแห้ว และชุดควบคุม คิดเป็นร้อยละ 89.71, 86.27, 82.28 และ 72.88 ตามลำดับ

(1.6) ประสิทธิภาพการบำบัด Cd ธูปฤาษีมีประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 94.36 รองลงมาคือ พืชผสม บัว หญ้าแห้ว และชุดควบคุม คิดเป็นร้อยละ 88.13, 85.93, 85.58 และ 79.94 ตามลำดับ โดยทุกพารามิเตอร์ พบว่า ธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงที่สุด

(2) การเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะ

จากการทดลองเดินระบบบึงประดิษฐ์แบบเติมน้ำเป็นกะโดยใช้พืช 3 ชนิด คือ บัว ธูปฤาษี และหญ้าแห้ว นำมาปลูกในชุดทดลองทั้งหมด 5 ชุดทดลอง ได้แก่ ชุดทดลองที่ 1 บัว ชุดทดลองที่ 2 ธูปฤาษี ชุดทดลองที่ 3 หญ้าแห้ว ชุดทดลองที่ 4 พืชผสม ชุดทดลองที่ 5 ชุดควบคุม และเก็บตัวอย่างน้ำเข้าและออกทุกๆ 6 วันต่อเนื่องเป็นเวลา 48 วัน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดทั้งหมด 6 พารามิเตอร์ พบว่า

(2.1) ประสิทธิภาพการบำบัด BOD มีชุดควบคุม ประสิทธิภาพสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 74.76 รองลงมาคือ หญ้าแห้ว บัว พืชผสม และธูปฤาษี คิดเป็นร้อยละ 67.78, 67.24, 66.82 และ 66.75 ตามลำดับ

(2.2) ประสิทธิภาพการบำบัด COD ธูปฤาษีมีประสิทธิภาพสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 72.40 รองลงมาคือ ชุดควบคุม พืชผสม หญ้าแห้ว และ บัว คิดเป็นร้อยละ 69.16, 44.84, 43.01 และ 40.18 ตามลำดับ

(2.3) ประสิทธิภาพการบำบัด TKN ธูปฤาษีมีประสิทธิภาพสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 47.26 รองลงมาคือ พืชผสม ชุดควบคุม หญ้าแห้ว และบัว คิดเป็นร้อยละ 42.76, 42.12, 41.82 และ 23.27 ตามลำดับ

(2.4) ประสิทธิภาพการบำบัด TP หญ้าแห้ว มีประสิทธิภาพสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 84.64 รองลงมาคือ ธูปฤาษี พืชผสม ชุดควบคุม และบัว คิดเป็นร้อยละ 83.64, 83.63, 73.34 และ 70.52 ตามลำดับ

(2.5) ประสิทธิภาพการบำบัด Pb บัว มีประสิทธิภาพสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 98.72 รองลงมาคือ พืชผสม และหญ้าแห้ว มีประสิทธิภาพเท่ากันคิดเป็นร้อยละ 96.02 ส่วนธูปฤาษีและชุดควบคุม คิดเป็นร้อยละ 95.14 และ 89.36 ตามลำดับ

(2.6) ประสิทธิภาพการบำบัด Cd พืชผสม มีประสิทธิภาพสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 94.36 รองลงมาคือ บัว ธูปฤาษี หญ้าแห้ว และชุดควบคุม คิดเป็นร้อยละ 97.01, 96.26, 94.45 และ 90.66 ตามลำดับ

5.2 อภิปรายผลการศึกษา

5.2.1 ลักษณะสมบัติของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิด

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะสมบัติของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดกับคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (กรมประมง, ม.ป.ป.) ใน**ตารางที่ 5.1-1** พบว่าน้ำในบ่อเลี้ยงเพาะเลี้ยงทุกบ่อส่วนใหญ่มีค่า pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ มีเพียงบางช่วงที่ค่า pH สูงเกินค่ามาตรฐาน สำหรับค่า DO พบว่าบ่อเพาะเลี้ยงมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ไม่ต่ำกว่า 3 mg/L ยกเว้นในบ่อพักน้ำ บ่อที่ 1, 3 และ 4 ที่มีค่าต่ำกว่า 3 mg/L ในบางช่วงเวลา ค่า BOD ส่วนใหญ่มีค่าเกิน 20 mg/L ส่วนปริมาณไนโตรเจนพบว่าในบ่อเลี้ยงปลามีค่าสูงกว่า 0.5 mg/L ซึ่งจะส่งผลให้ปลากินอาหารน้อยลง และเคลื่อนไหวช้าลง (กรมประมง, ม.ป.ป.)

น้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลามีการสะสมของสารอินทรีย์และไนโตรเจนในน้ำในปริมาณที่มากกว่าค่ามาตรฐานส่งผลโดยตรงทำให้ออกซิเจนละลายน้ำลดต่ำลง เนื่องจากถูกจุลินทรีย์ในน้ำนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ และใช้ในกระบวนการ Nitrification เพื่อเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียไนโตรเจนให้กลายเป็นไนไตรและไนเตรทตามลำดับ (George Tchobanoglous, H. David Stensel, Ryujiro Tsuchihashi, Franklin L. Burton. 2003.)แต่ทั้งนี้ในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำ อาจไม่พบปัญหาของการขาดออกซิเจนละลายน้ำอย่างรุนแรง เนื่องจากในช่วงเวลากลางวันสาหร่าย แพลก์ตอนพืช และพืชน้ำทำการสังเคราะห์แสงช่วยเพิ่มออกซิเจนละลายน้ำ แต่ในช่วงเวลากลางคืนปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอาจลดต่ำลงจนกระทั่งกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลาได้ เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืนออกซิเจนละลายน้ำจะถูกสัตว์น้ำ แพลงก์ตอน และพืชน้ำ นำไปใช้การหายใจ

กรณีเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2550) พบว่าในกรณีที่ปล่อยน้ำออกจากบ่อเพาะเลี้ยงสู่แหล่งรองรับน้ำทิ้งโดยตรงโดยไม่มีการบริหารจัดการ อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำได้ เนื่องจากค่า BOD TKN TP เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

5.2.2 ลักษณะสมบัติของน้ำในคลอง

คุณภาพของน้ำคลองบริเวณโดยรอบบ่อเพาะเลี้ยงปลาสลิดจัดเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภท 5 หมายถึงแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถใช้ประโยชน์เพื่อการคมนาคม ไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เพื่อการเกษตร (ประเภท 3) เนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์และโลหะหนักเกินมาตรฐานน้ำผิวดิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)

5.2.3 การบำบัดสารอินทรีย์

การเปรียบเทียบระหว่างอัตราการกำจัด BOD และอัตราการกำจัด COD พบว่า อัตราการกำจัด BOD สูงกว่าอัตราการกำจัด COD ในทุกชุดการทดลอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mohd Noor N.A., *et. al*. (2015) ที่รายงานผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ที่ประเทศมาเลเซียว่ามีอัตราการกำจัด BOD สูงกว่า COD ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของอัตราการกำจัด BOD และ COD เท่ากับ 0.94-1.17 และ 0.85-0.98 d^{-1} ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก BOD พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายในน้ำ ส่วน COD เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากในน้ำ ดังนั้นสารอินทรีย์ในรูปของ BOD จึงมีอัตราการกำจัดที่สูงกว่าสารอินทรีย์ในรูปของ COD

การเปรียบเทียบระหว่างกรณีเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องและเติมน้ำเป็นกะ พบว่า การเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องมีประสิทธิภาพสูงกว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ และ สมศักดิ์ เจริญวัย (2543) ที่ศึกษาเปรียบเทียบการใช้บึงประดิษฐ์บำบัดน้ำเสียชุมชนระหว่างการขังน้ำและปล่อยให้น้ำไหลต่อเนื่อง รวมถึงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhao Y. *et al.* (2013) ที่พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด COD ของการเดินระบบแบบต่อเนื่องสูงกว่าการเดินระบบแบบเป็นกะ เท่ากับ ร้อยละ 76.5 และ 71.5 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การเติมน้ำต่อเนื่องจะทำการสูบน้ำเข้าทางหัวถังและปล่อยให้น้ำไหลผ่านชุดทดลองแบบไหลตามยาว (Plug flow) ทำให้น้ำเสียค่อย ๆ ได้รับการบำบัดตามระยะทางจากหัวถังไปยังท้ายถัง ซึ่งต่างจากการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะที่ทำการสูบน้ำเข้าบ่อทั้งหมดในคราวเดียวและระบายน้ำออกในคราวเดียวเป็นระยะเวลาสั้น ๆ สอดคล้องกับบทความของ Bendoricchio G., et. al. (2000) ซึ่งรายงานว่าการรักษาสภาพการไหลให้เป็น Plug flow และป้องกันมิให้เกิดการไหลลัดวงจร (Short circuit flow) จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด

5.2.2. ประสิทธิภาพในการบำบัดธาตุอาหาร

(1) การบำบัดไนโตรเจน

การเปรียบเทียบระหว่างกรณีเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องและเติมน้ำเป็นกะ พบว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนสูงกว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะในทุกชุดการทดลองสอดคล้องกับอัตราการกำจัดไนโตรเจน ทั้งนี้เนื่องมาจากกลไกหนึ่งใน

การบำบัดไนโตรเจนได้แก่กระบวนการไนตริฟิเคชั่น (Nitrification process) (Andersson et. al., 2005) ซึ่งจุลินทรีย์ในน้ำจะทำการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียไนโตรเจนให้กลายเป็นไนไตร์ทและไนเตรทตามลำดับ ในสภาวะมีออกซิเจน (Aerobic condition) และมีสารอินทรีย์ในน้ำน้อย (BOD ต่ำ) แต่การเดินระบบด้วยการเติมน้ำเป็นกะ ในช่วงแรกของกะที่ทำการเติมน้ำลงในบึงประดิษฐ์ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ยังถูกย่อยสลายไปไม่มากจึงทำให้น้ำมีความเข้มข้นสารอินทรีย์มาก ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้จะยับยั้งทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชั่นเกิดขึ้นได้ไม่ดีในช่วงต้นของแต่ละกะ แตกต่างกับการเดินระบบด้วยการเติมน้ำต่อเนื่องที่สารอินทรีย์ในบึงประดิษฐ์มีค่าความเข้มข้นต่ำอยู่ตลอดเวลา ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นจึงสามารถเกิดได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าการเติมน้ำแบบกะ

ชุดทดลองที่มีการปลูกบัว มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ ทั้งการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องและเติมน้ำเป็นกะ สอดคล้องกับอัตราการกำจัดไนโตรเจนทั้งแบบเติมน้ำต่อเนื่องและเติมน้ำเป็นกะ ทั้งนี้เนื่องจากใบบัวที่เจริญเติบโตปกคลุมผิวน้ำขัดขวางไม่ให้ออกซิเจนจากอากาศถ่ายเทลงสู่ผิวน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำไม่เพียงพอสำหรับการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น ดังนั้นกลไกการบำบัดที่เกิดขึ้นในชุดทดลองที่ปลูกบัวจึงเกิดจากจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Microorganism) ใช้ไนโตรเจนเพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งโดยปกติจะใช้เพียง ร้อยละ 1.1 ของปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของ BOD ที่ถูกกำจัด (Metcalf & Eddy Inc. et al., 2003 และกรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545) และไนโตรเจนส่วนหนึ่งที่ตกตะกอนอยู่บริเวณดินตะกอนจะถูกรากของบัวดูดเข้าไปในลำต้นและส่งต่อไปยังหน่อของดอก (Thiébaut, 2008)

สำหรับชุดควบคุมที่ไม่มีการปลูกพืช พบว่า ถึงแม้จะไม่มีการปลูกพืช แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าบัวทั้งในกรณีที่เดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องและเติมน้ำเป็นกะ สอดคล้องกับอัตราการกำจัดไนโตรเจนทั้งแบบเติมน้ำต่อเนื่องและแบบเติมน้ำเป็นกะ ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการย่อยสลายทางชีววิทยาโดยจุลินทรีย์ใช้อากาศ (Aerobic Microorganism) ซึ่งใช้ไนโตรเจนประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด (Metcalf & Eddy Inc. et al., 2003 และกรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545) อีกทั้งไนโตรเจนส่วนหนึ่งจะถูกสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ในการดำรงชีวิต ซึ่งสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชจะสังเคราะห์แสงในช่วงเวลากลางวันผลิตออกซิเจนให้จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และเมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำจะคายคาร์บอนไดออกไซด์ให้สาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชใช้ในการสังเคราะห์ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545) ดังนั้นจึงทำให้ชุดควบคุมมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าบัว

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างธูปฤาษีและหญ้าแห้วา พบว่า ธูปฤาษีมีประสิทธิภาพสูงกว่าทั้งในกรณีที่เดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง และกรณีเติมน้ำเป็นกะ ซึ่งสอดคล้อง

กับอัตราการกำจัดไนโตรเจนทั้งในกรณีเติมน้ำต่อเนื่องและเติมน้ำเป็นกะ เนื่องจากแม้ว่ากลไกการบำบัดไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเช่นเดียวกัน ได้แก่ 1) จุลินทรีย์ใช้ไนโตรเจนเพื่อการย่อยสลายทางชีววิทยา 2) การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นในน้ำ และ 3) การที่รากพืชดูดซับไนโตรเจนจากตะกอนดินเข้าไปในลำต้น ก็ตาม แต่ธูปฤาษีก็เป็นพืชที่มีรากอยู่ในน้ำจำนวนมาก ทำให้ธูปฤาษีสามารถดูดซับไนโตรเจนจากในน้ำเข้าสู่ลำต้นได้เร็วและมากกว่ากรณีของหญ้าแห้ว ดังนั้นจึงพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนของธูปฤาษีจึงสูงกว่าพืชผสมและหญ้าแห้ว ตามลำดับ

(2) การบำบัดฟอสฟอรัส

การเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะมีอัตราการกำจัดฟอสฟอรัสสูงกว่าการเติมน้ำแบบต่อเนื่อง สอดคล้องกับผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส ทั้งนี้เนื่องกลไกหลักของการกำจัดฟอสฟอรัสในบึงประดิษฐ์คือ การตกตะกอน (Precipitation) ซึ่ง Andersson J. L., *et al.* (2005) รายงานว่าพบฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ตกตะกอนสะสมอยู่บริเวณทางน้ำเข้าของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ ดังนั้นการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะจะทำให้สภาพความปั่นป่วนในบึงประดิษฐ์ต่ำมาก ส่งผลให้ตะกอนฟอสฟอรัสสามารถตกตะกอนได้ง่ายกว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง

5.2.3. ประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนัก

(1) การบำบัดตะกั่ว (Lead, Pb)

จากผลการทดลองเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องและเติมน้ำเป็นกะ พบว่า แต่ละชุดทดลองประสิทธิภาพค่อยข้างใกล้เคียงกันทั้ง 4 ชุดทดลอง ยกเว้นชุดควบคุมที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าชุดทดลองอื่น ๆ อย่างชัดเจน และการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากกลไกสำคัญในการบำบัดตะกั่วของระบบบึงประดิษฐ์คือการตกตะกอนเคมี ซึ่งโดยปกติตะกั่วมักจะจับตัวกับสารละลายในน้ำกลายเป็นของแข็งและตะกอนบริเวณผิวหน้าของดินหรือตกสะสมอยู่บริเวณโพรงของรากพืช เช่น ตะกอนซัลไฟด์ (S^{2-} + Pb^{2+} => PbS) ตะกอนซัลเฟต (SO_4^{2-} + Pb^{2+} => $PbSO_4$) ตะกอนคาร์บอเนต (CO_3^{2-} + Pb^{2+} => $PbCO_3$) และตะกอนคลอไรด์ ($2Cl^-$ + Pb^{2+} => $PbCl_2$) (Vymazal *et al*., 2016) ดังนั้นการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะจะทำให้สภาพความปั่นป่วนในบึงประดิษฐ์ต่ำมาก ส่งผลให้ตะกอนตะกั่วสามารถตกตะกอนได้ง่ายกว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง

นอกจากนี้ยังสรุปได้ว่า การปลูกพืชในบึงประดิษฐ์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก โลหะหนักที่อยู่บริเวณโพรงรากพืชบางส่วนจะถูกรากดูดขึ้นมาและส่งต่อไปยังส่วนอื่นๆ ของพืช อีกทั้งพืชยังมีความสามารถคายออกซิเจนออกทางราก ช่วยให้จุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตได้ ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำหน้าที่ดูดซับโลหะหนักเข้าไปเก็บในเซลสามารถช่วยลดความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำได้ (Guittonny-Philippe A., et al., 2014) สอดคล้องกับบทความของ Gill L.W. et al. (2014) ที่รายงานว่า มีการตรวจพบตะกั่วในราก ใบ และดอกของพืชในบึงประดิษฐ์ แต่จะพบที่บริเวณรากมากกว่าส่วนอื่น

(2) การบำบัดแคดเมียม (Cadmium, Cd)

จากผลการทดลองการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องและการเติมน้ำเป็นกะ พบว่า แต่ละชุดทดลองประสิทธิภาพค่อยข้างใกล้เคียงกันทั้ง 4 ชุดทดลอง ยกเว้นชุดควบคุมที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าชุดทดลองอื่น ๆ อย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังพบว่า ธูปฤาษีในระบบบึงประดิษฐ์แบบเติมน้ำเป็นกะมีประสิทธิภาพสูงที่สุด และการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากกลไกสำคัญในการบำบัดแคดเมียมของระบบบึงประดิษฐ์คือการตกตะกอนเคมี ซึ่งโดยปกติตะกั่วมักจะจับตัวกับสารละลายในน้ำกลายเป็นของแข็งและตะกอนบริเวณผิวหน้าของดินหรือตกสะสมอยู่บริเวณโพรงของรากพืช เช่น ตะกอนของซัลไฟด์ (S^{2-} + Cd^{2+} => CdS) และตะกอนของคาร์บอเนต (CO_3^{2-} + Cd^{2+} => $CdCO_3$) (Vymazal *et al*., 2016) ดังนั้นการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะจะทำให้สภาพความปั่นป่วนในบึงประดิษฐ์ต่ำมาก ส่งผลให้ตะกอนแคดเมียมสามารถตกตะกอนได้ง่ายกว่าการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง

นอกจากนี้ยังสรุปได้ว่า การปลูกพืชในบึงประดิษฐ์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากน้ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก โลหะหนักที่อยู่บริเวณโพรงรากพืชบางส่วนจะถูกรากดูดขึ้นมาและส่งต่อไปยังส่วนอื่นๆ ของพืช อีกทั้งพืชยังมีความสามารถคายออกซิเจนออกทางราก ช่วยให้จุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตได้ ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำหน้าที่ดูดซับแคดเมียมเข้าไปเก็บในเซลสามารถช่วยลดความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำได้ (Guittonny-Philippe A., et al., 2014)

5.2.4. ชนิดของพืชและรูปแบบการเดินระบบที่เหมาะสม

จากผลการวิจัยในบทที่ 4 พบว่ารูปแบบในการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องและเติมน้ำเป็นกะ สามารถบำบัดน้ำคลองให้มีคุณภาพก่อนนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยงได้ และสามารถบำบัดน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานก่อนระบายทิ้งได้ทั้ง 2 รูปแบบ แต่มีข้อดีข้อเสียและวิธีการใช้งานที่แตกต่างกัน ซึ่งเกษตรกรสามารถพิจารณานำไปใช้ได้ตามความเหมาะสม ดังนี้

(3) รูปแบบการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง

เป็นรูปแบบที่เกษตรกรต้องใช้เครื่องสูบน้ำสูบน้ำจากคลองหรือสูบน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงเข้าไปในบ่อบึงประดิษฐ์ด้วยอัตราการไหลควบคุมที่มีระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ไม่น้อยกว่าระยะเวลาที่บึงประดิษฐ์ใช้ในการบำบัด รูปแบบนี้มีข้อดีคือต้องการระยะเวลาในการบำบัดน้อย ใช้พื้นที่บึงประดิษฐ์น้อย แต่มีข้อเสียคือ หากเกษตรกรไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำให้คงที่และเหมาะสมได้ บึงประดิษฐ์จะมีประสิทธิภาพลดต่ำลง รายละเอียดของรูปแบบการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่องมีดังนี้

(1.1) กรณีใช้บึงประดิษฐ์สำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำคลองก่อนนำไปใช้เพาะเลี้ยง

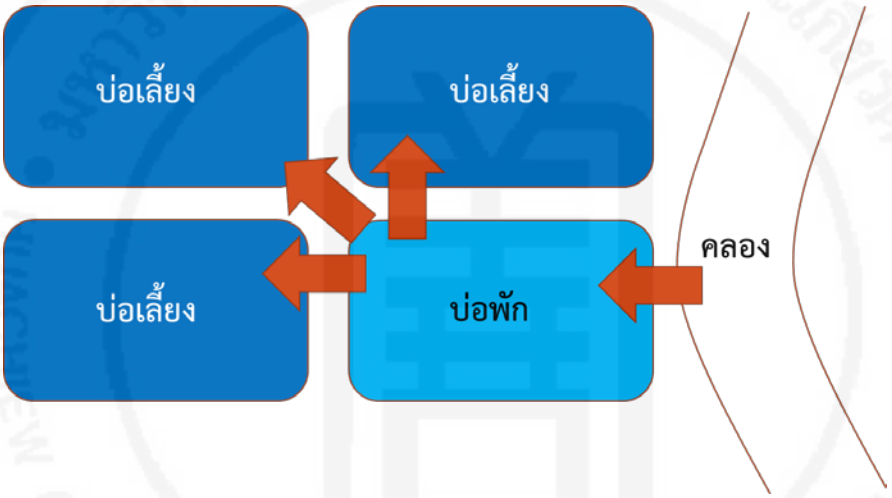
- ปลูกพืชผสมในบึงประดิษฐ์ประกอบด้วย บัว หญ้าแห้ว และ

ธูปฤาษี ด้วยความหนาแน่น 16 ต้นต่อตารางเมตร

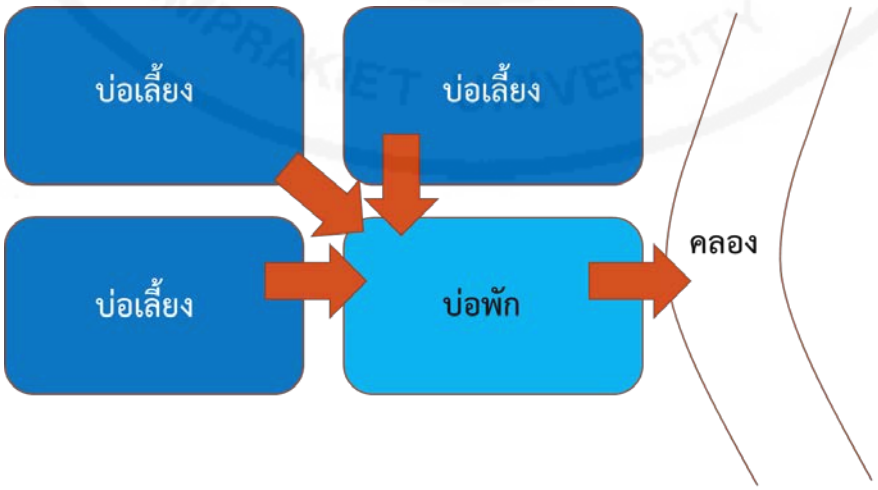
- ใช้ระยะเวลาในการบำบัดไม่น้อยกว่า 6 วัน

(1.2) กรณีใช้บึงประดิษฐ์สำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงก่อนระบายทิ้ง

- ปลูกพืชผสมในบึงประดิษฐ์ประกอบด้วย บัว หญ้าแห้ว และธูปฤาษี ด้วยความหนาแน่น 16 ต้นต่อตารางเมตร
- ใช้ระยะเวลาในการบำบัดไม่น้อยกว่า 6 วัน



การปรับปรุงบ่อพักปรับปรุงคุณภาพน้ำคลองก่อนนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยง



การใช้บ่อพักปรับปรุงคุณภาพน้ำเพาะเลี้ยงก่อนระบายทิ้ง

ภาพที่ 5.2-1 การใช้บ่อพักน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ

(4) รูปแบบการเดินระบบแบบเติมน้ำเป็นกะ

เป็นรูปแบบที่เกษตรสามารถปรับปรุงบ่อพักน้ำเดิมให้เป็นบึงประดิษฐ์ได้ง่ายกว่ารูปแบบการเดินระบบแบบเติมน้ำต่อเนื่อง เนื่องจากเกษตรกรสามารถปล่อยน้ำคลองหรือน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงเข้ามาขังไว้ในบ่อบึงประดิษฐ์ได้โดยไม่ต้องควบคุมอัตราการไหล แล้วทำการขังน้ำในบ่อไม่น้อยกว่าระยะเวลาการบำบัดที่ต้องการ ทั้งนี้ในการปล่อยน้ำเข้าไปในบึงประดิษฐ์ เกษตรกรสามารถที่จะปล่อยน้ำไหลเข้าบ่อด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกผ่านทางท่อเชื่อมระหว่างบ่อ หรือใช้เครื่องสูบน้ำก็ได้ แต่รูปแบบนี้มีข้อเสียคือ ต้องการระยะเวลาในการบำบัดนานกว่ารูปแบบการเติมน้ำต่อเนื่อง รายละเอียดมีดังนี้

(2.3) กรณีใช้บึงประดิษฐ์สำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำคลองก่อนนำไปใช้เพาะเลี้ยง

- ปลูกพืชผสมในบึงประดิษฐ์ประกอบด้วย บัว หญ้าแห้ว และธูปฤาษี ด้วยความหนาแน่น 16 ต้นต่อตารางเมตร
- ใช้ระยะเวลาในการบำบัดไม่น้อยกว่า 30 วัน

(2.4) กรณีใช้บึงประดิษฐ์สำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงก่อนระบายทิ้ง

- ปลูกพืชผสมในบึงประดิษฐ์ประกอบด้วย บัว หญ้าแห้ว และธูปฤาษี ด้วยความหนาแน่น 16 ต้นต่อตารางเมตร
- ใช้ระยะเวลาในการบำบัดไม่น้อยกว่า 12 วัน

5.3. ข้อเสนอแนะ

(1) ควรนำแนวทางที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่เพาะเลี้ยงจริง และศึกษาประสิทธิภาพในการใช้งานจริงจากภาคสนาม

(2) ควรศึกษาหารูปแบบของการเดินระบบและบำรุงรักษาในระยะยาว

บรรณานุกรม

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2550). *กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด*, 2 ตุลาคม 2560. สืบค้นจาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html#s13

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2545). *ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ*. จัดพิมพ์โดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

กรมควบคุมมลพิษ. (2547). *โครงการพัฒนาแนวทางด้านเทคนิคและสาธิตระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์*. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. (2537). *ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน* , 26 กรกฎาคม 2560. สืบค้นจาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water05.html

กรมประมง. (ม.ป.ป.). *ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ*, 26 กรกฎาคม 2560. สืบค้นจาก http://www.fisheries.go.th/if-phayao/matter/checkwater.html

ปัญจ์ปพัชรภร บุญพร้อม. (2554). *การบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติโดยระบบบึงประดิษฐ์*. สาขาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์และเทคโนโลยีสุขภาพ วิทยาลัยนครราชสีมา.

ฉัตรชัย ยาทะเล. (2554). *การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนแบบระบบบึงประดิษฐ์ด้วยพุทธรักษาและตาลปัตรฤาษี กรณีศึกษา : ชุมชนแม่หรั่งงอกงาม อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี*. สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

จอมจันทร์ นทีวัฒนา. (2557). *การบำบัดสารหนูโดยวิธีพืชบำบัดในดินและตะกอนดิน: กลไกและการจัดการ*.วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ 42 (ฉบับที่ 4), หน้า 730-747.

พัณณ์ชิตา ปิงชัย และ ศุวศา กานตวนิชกูร. (2554). *การศึกษาการกำจัดโครเมียมโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง*. การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

เจริญ อุดมการ และคณะ. (2540). *ศึกษาประสิทธิภาพบ่อบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติและการสะสมโลหะหนักในเนื้อปลา บริเวณคูหมากเสื่อ จังหวัดสกลนคร*. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสกลนคร.

บรรณานุกรม (ต่อ)

สุชาดา ศรีเพ็ญ รศ.จันทนา สุขปรีดี อ. สุมน มาสุธน ศ. ดร. สายัณห์ ทัดศรี ผศ. ดร.สุวพงษ์ สวัสดิพาณิชย์ รศ.ดร.สมบัติ ชิณะวงศ์ และสมศักดิ์ เจริญวัย. 2543. *การศึกษาเบื้องต้นในการคัดเลือกชนิดพืชบำบัดน้ำเสีย.* รายงานการศึกษาวิจัย วิทยาศาสตร์การกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.

สุชาดา ศรีเพ็ญ รศ.จันทนา สุขปรีดี ,อ.สุมน มาสุธน ,รศ.ดร.สมบัติ ชิณะวงศ์ และสมศักดิ์ เจริญวัย. 2543. *การบำบัดน้ำเสียจากชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีในพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโดยใช้กกกลมและธูปฤาษี.* รายงานการศึกษาวิจัย วิทยาศาสตร์การกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.

สุรีย์พร หอมวิเศษวงศา และคณะ. 2559. *การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำ ดินตะกอน และปลาสลิด ในบ่อเลี้ยงปลาสลิด ตำบลคลองด่าน อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ*. มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.

ศรปราชญ์ ธไนศวรรยางกูร พูนพิภพ เกษมทรัพย์ และทรงคุณ สิงหราชวัลลภ. 2543. *การสังเคราะห์แสงและการส่งลำเลียงก๊าซออกซิเจนในประชากรธูปฤาษี.* รายงานการศึกษาวิจัย วิทยาศาสตร์การกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ และ สมศักดิ์ เจริญวัย. 2543. *ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยพืชน้ำ (แปลงขนาด 5x25 เมตร และ 5x100 เมตร).* รายงานการศึกษาวิจัย วิทยาศาสตร์การกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ และ สมศักดิ์ เจริญวัย. 2543. *ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของหญ้าเลี้ยงสัตว์และพืชน้ำ.* รายงานการศึกษาวิจัย วิทยาศาสตร์การกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.

บรรณานุกรม (ต่อ)

พูลศิริ กิจวรรณ และ สุรัสวดี บุบผะเรณู. 2543. *ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี และซีโอดีในน้ำเสียชุมชน โดยวิธีหญ้ากรองน้ำเสีย*. รายงานการศึกษาวิจัย วิทยาศาสตร์การกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.

Yaqian Zhao, Sean Collum, Mark Phelan, Tristan Goodbody, Liam Doherty, Yuansheng Hu. 2013. *Preliminary investigation of constructed wetland incorporating microbial fuel cell: Batch and continuous flow trials*. Chemical Engineering Journal 229, 364–370.

J. L. Andersson, S. Kallner Bastviken and K. S. Tonderski. 2005. *Free water surface wetlands for wastewater treatment in Sweden – nitrogen and phosphorus removal*. Water Science and Technology, 51(9):39-46.

Nur Asmaliza MOHD NOOR, Lariyah MOHD SIDEK, Simon BEECHAM, Mohamed Roseli ZAINAL ABIDIN, Aminudin AB GHANI. *Estimation of Removal Rate for Constructed Wetland under Tropical Climate*. 2015 IFME World Congress on Municipal Engineering and IPWEA International Conference. 7-11 June 2015. New Zealand.

Kyle R. Douglas-Mankin, Charles D. Ikenberry. 2007. *Batch reactor unvegetated wetland performance in treating dairy wastewater*. JAWRA Journal of the American Water Resources Association 40(6):1527 – 1535.

Giuseppe Bendoricchio, Luigi Dal Cin and Jesper Persson. 2000. *Guidelines for free water surface wetland design*. EcoSys Bd. 8, 2000, 51-91.

Gabrielle Thiébaut. 2008. *Chapter 3 PHOSPHORUS AND AQUATIC PLANTS. The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions*. P31-49.

Metcalf & Eddy Inc., George Tchobanoglous, H. David Stensel, Ryujiro Tsuchihashi, Franklin L. Burton. 2003. *Wastewater Engineering*: Treatment and Reue, 4th edition.

บรรณานุกรม (ต่อ)

J. Vymazal and T. Brˇezinová. 2016. *Accumulation of heavy metals in aboveground biomass of Phragmites australis in horizontal flow constructed wetlands for wastewater treatment: A review*. Chemical Engineering Journal 290 (2016) 232–242.

Jan Vymazal. 2010. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. Water 2010, 2, 530-549; doi:10.3390/w2030530.

Anna Guittonny-Philippe, Véronique Masotti, Patrick Höhener, Jean-Luc Boudenne, Julien Viglionec, Isabelle Laffont-Schwob. 2014. *Constructed wetlands to reduce metal pollution from industrial catchments in aquatic Mediterranean ecosystems: A review to overcome obstacles and suggest potential solutions*. Environment International 64(2014) 1 –16.

Omprakash Sahu. *Reduction of Heavy Metals from Waste Water by Wetland*. International Letters of Natural Sciences 7 (2014) 35-43.

Pries, J. 1994. *Wastewater and Stormwater Applications of Wetlands in Canada.* CH2M HILL ENG. LTD., Environment Canada, Canadian Wild life Service, North American Wetlands Conservation Council, Ontario.

ประวัติย่อผู้วิจัย

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ – นามสกุล เทอดพงศ์ ศรีสุขพันธุ์

ประวัติการศึกษา วศ.ด. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) ม.เกษตรศาสตร์
วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) ม.เกษตรศาสตร์
วศ.บ. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สถานที่ติดต่อ คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ โทรศัพท์ 02-312-6415 ต่อ 1227

ผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล ยิ่งเจริญ คูสกุลรัตน์

ประวัติการศึกษา วท.ม. (สุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม) ม.มหิดล
วท.บ. (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิทยาศาสตร์สุขาภิบาล ม.ขอนแก่น

สถานที่ติดต่อ คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ โทรศัพท์ 02-312-6415 ต่อ 1227

ผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล ชฎาภรณ์ ประสาทกุล

ประวัติการศึกษา วท.ม. (สุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม) ม.มหิดล
วท.บ. (อนามัยสิ่งแวดล้อม) เกียรตินิยมอันดับสอง ม.บูรพา

สถานที่ติดต่อ คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ โทรศัพท์ 02-312-6415 ต่อ 1227

ผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล ปรีชา สมานมิตร

ประวัติการศึกษา ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4

สถานที่ติดต่อ 394/2 หมู่ที่11 ตำบลคลองด่าน อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ
โทรศัพท์ 089-530-3651