

เอกสารวิชาเซตฯ
ห้ามนำออกจากห้องสมุด
ใช้เฉพาะ ชั้น 5 เท่านั้น



ประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อม
เส้นด้ายอะคริลิก

Efficiency of the Constructed Wetland for Treatment of
Wastewater from Beaching and Dyeing Acrylic Fiber

ชนิษฐา เจริญลาภ

RMUTK - CARIT



โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2553
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ



ประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อม
เส้นด้ายอะคริลิก

Efficiency of the Constructed Wetland for Treatment of
Wastewater from Beaching and Dyeing Acrylic Fiber



ชนิษฐา เจริญลาภ

RMUTK - CARIT



3 2000 00100664 4

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2553
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อมเส้นด้าย
อะคริลิก สำเร็จลุล่วงด้วยดีจนสมบูรณ์ โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากเงินอุดหนุนการวิจัย
งบประมาณแผ่นดินปี 2553 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ขอขอบพระคุณ โรงงานเจริญ
ชัยการย้อม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดลองสร้างระบบบำบัดและทดลองในบ่อกึ่งหนึ่งของโรงงาน
ตลอดจนนายทิพานัน แพงทอง นักศึกษาสาขาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ ที่ได้มีส่วน
ร่วมเป็นผู้ช่วยในการดำเนินการวิจัย

ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับความสำเร็จของงานวิจัยนี้

บทคัดย่อ

การบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางธรรมชาติ เป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียให้ง่ายต่อการดำเนินการ และมีค่าใช้จ่ายต่ำ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก ด้วยระบบบึงประดิษฐ์ ตัวแปรที่ศึกษา คือ ระบบที่ปลูกพืช และไม่ปลูกพืช ชนิดพืช 2 ชนิดได้แก่ ธูปฤาษี และหญ้าแฝก ระยะเวลาเก็บกักน้ำในระบบ 1 วัน 4 วัน และ 7 วัน และระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร ผลการทดลองพบว่า ภาวะที่เหมาะสมคือระบบที่ใช้สารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี ที่ระดับน้ำท่วมขัง 20 เซนติเมตร ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 4 วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ซีไอดี และบีไอดี ร้อยละ 95.22, 96.22, 95.87, 48.72, 80.53 และ 87.31 ตามลำดับ โดยทุกพารามิเตอร์ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: ระบบบึงประดิษฐ์ น้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก

Abstract

Wastewater treatment by using natural process is an option to develop a simple and low cost wastewater treatment system. The objective of this research was to study the optimum condition for the treatment of wastewater from bleaching and dyeing acrylic yarn with a constructed wetland. The variables studied were the cropping and non-cropping plant system, plant species (Typha and Vetiver), storage time (1 day, 4 day, and 7 day) and the water level (10 cm, 20 cm, and 30cm). The results showed that the optimum condition was the use of the filter with Typha, 20 cm water level, and 4 day water storage. The system was effective in removing color, turbidity, suspended solids, total solids, chemical oxygen demand and biochemical oxygen demand were 95.22%, 96.22%, 95.87%, 48.72%, 80.53% and 87.31%, respectively.

Key words: constructed wetland, from bleaching and dyeing acrylic yarn

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ข
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 สมมุติฐานการวิจัย	3
1.6 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การย้อมสีเส้นใยอะคริลิก	4
2.2 ทฤษฎีของระบบแบบเบี่ยงประติษฐ์	6
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินงาน	23
3.1 อุปกรณ์	23
3.2 วิธีดำเนินงาน	23
3.3 สถานที่ทดลอง/เก็บข้อมูล	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	26
4.1 ลักษณะน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบเบี่ยงประติษฐ์	28
4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อปรับสภาพพีเอชของน้ำ ที่บำบัดด้วยระบบเบี่ยงประติษฐ์	27
4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปรับสภาพค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ ที่บำบัดด้วยระบบเบี่ยงประติษฐ์	30
4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของน้ำ ที่บำบัดด้วยระบบเบี่ยงประติษฐ์	34
4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขุ่นของน้ำ ที่บำบัดด้วยระบบเบี่ยงประติษฐ์	37
4.6 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ ที่บำบัดด้วยระบบเบี่ยงประติษฐ์	40
4.7 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำ ที่บำบัดด้วยระบบเบี่ยงประติษฐ์	43
4.8 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าซีไอดีของน้ำ ที่บำบัดด้วยระบบเบี่ยงประติษฐ์	46
4.9 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าบีโอดีของน้ำ ที่บำบัดด้วยระบบเบี่ยงประติษฐ์	49
4.10 ประสิทธิภาพของระบบเบี่ยงประติษฐ์	52

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอนะ	54
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก	57

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงธรรมชาติ
ตารางที่ 2.2	ตัวอย่างเกณฑ์การออกแบบระบบบึงประดิษฐ์แบบ free water surface wetland
ตารางที่ 2.3	ตัวอย่างเกณฑ์การออกแบบระบบบึงประดิษฐ์แบบ vegetated submerged bed system(VSB)
ตารางที่ 2.4	การเติบโตของพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย
ตารางที่ 2.5	ผลของการกำจัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอยในบึงประดิษฐ์
ตารางที่ 2.6	ความผิดปกติในบึงประดิษฐ์ที่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้
ตารางที่ 2.7	ความผิดปกติในบึงประดิษฐ์ที่ไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้
ตารางที่ 4.1.1	ลักษณะน้ำทิ้งจากการย่อยเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสปีเกลิก
ตารางที่ 4.2.1	การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ จำแนกตามระยะเวลาเก็บกักน้ำ ชนิดของสารกรอง และระดับน้ำท่วมขัง
ตารางที่ 4.3.1	การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าของน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ จำแนกตามระยะเวลาเก็บกักน้ำ ชนิดของสารกรอง และระดับน้ำท่วมขัง
ตารางที่ 4.4.1	การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ จำแนกตามระยะเวลาเก็บกักน้ำ ชนิดของสารกรอง และระดับน้ำท่วมขัง
ตารางที่ 4.5.1	การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความขุ่นของน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ จำแนกตามระยะเวลาเก็บกักน้ำ ชนิดของสารกรอง และระดับน้ำท่วมขัง
ตารางที่ 4.6.1	การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยของน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ จำแนกตามระยะเวลาเก็บกักน้ำ ชนิดของสารกรอง และระดับน้ำท่วมขัง
ตารางที่ 4.7.1	การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแข็งทั้งหมดในน้ำ หลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ จำแนกตามระยะเวลาเก็บกักน้ำ ชนิดของสารกรอง และระดับน้ำท่วมขัง

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.8.1 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยซีไอดีของน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบ บึงประดิษฐ์ จำแนกตามระยะเวลาเก็บกักน้ำ ชนิดของสารกรอง และระดับน้ำท่วม ขัง	48
ตารางที่ 4.9.1 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยซีไอดีของน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบ บึงประดิษฐ์ จำแนกตามระยะเวลาเก็บกักน้ำ ชนิดของสารกรอง และระดับน้ำท่วม ขัง	51
ตารางที่ 4.10.1 ภาวะที่เหมาะสมในการลดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำที่บำบัดด้วยระบบ บึงประดิษฐ์โดย การใช้สารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี	52
ตารางที่ 4.10.1 ประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์	53

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1	ชั้นกรองของระบบบึงประดิษฐ์
รูปที่ 2.2	กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์ในระบบพืชบำบัดน้ำเสีย
รูปที่ 2.3	กระบวนการกำจัดไนโตรเจนในระบบพืชบำบัดน้ำเสีย
รูปที่ 2.4	บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (FWS)
รูปที่ 2.5	บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (SF)
รูปที่ 2.6	บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวตั้ง (VF)
รูปที่ 3.1	ระบบบึงประดิษฐ์
รูปที่ 3.2	รูปแบบการทดลอง
รูปที่ 4.1.1	ลักษณะน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก
รูปที่ 4.2.1	ค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 10 เซนติเมตร
รูปที่ 4.2.2	ค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 20 เซนติเมตร
รูปที่ 4.2.3	ค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 30 เซนติเมตร
รูปที่ 4.3.1	ค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 10 เซนติเมตร
รูปที่ 4.3.2	ค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 20 เซนติเมตร
รูปที่ 4.3.3	ค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 30 เซนติเมตร
รูปที่ 4.4.1	ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 10 เซนติเมตร
รูปที่ 4.4.2	ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 20 เซนติเมตร
รูปที่ 4.4.3	ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 30 เซนติเมตร

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9.3 ค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 30 เซนติเมตร	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาเศรษฐกิจไทย มีกระบวนการผลิตที่ครบวงจรตั้งแต่การผลิตเส้นใย ปั่นด้าย ทอผ้า ถักผ้า ฟอกย้อมพิมพ์ และเสื้อผ้าสำเร็จรูป ก่อให้เกิดการจ้างงานจำนวนมาก อีกทั้งยังสามารถนำรายได้เงินตราต่างประเทศได้ปีละกว่า 5,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐ มูลค่าส่งออกสูงเป็นอันดับ 3 รองจากมูลค่าส่งออกอิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องใช้ไฟฟ้า (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2550) โดยส่วนของอุตสาหกรรมซึ่งต้องรับผิดชอบต่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คืออุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำ สารเคมี และสีย้อม ในกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ตามความต้องการ เป็นอุตสาหกรรมที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ได้อย่างมากมาย ทั้งนี้ปัญหาใหญ่คือการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมที่ปล่อยออกมากับน้ำเสีย ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสูตรโครงสร้างใหญ่ ซับซ้อน และมีความเป็นพิษ ในกระบวนการย้อมเส้นใยจะมีการดูดสีย้อมจากสารละลายสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้น สีย้อมที่เหลือจะคงอยู่ในสารละลายสีย้อม และถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียในที่สุด ปริมาณสีย้อมที่ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมจะแตกต่างกันไปตั้งแต่ ร้อยละ 5-50 ขึ้นกับประเภทของสีย้อมที่ใช้ ทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่ดีต่อผู้พบเห็น มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อยู่อาศัยในน้ำทั้งทางตรง และทางอ้อม โดยอนุภาคสีย้อม จะขัดขวางการกระจายของแสงทำให้สมดุลของระบบนิเวศเสียไป และสีย้อมบางชนิดมีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อม (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542)

ห้างหุ้นส่วนจำกัด เจริญชัยการย้อม เป็นโรงงานฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก มีน้ำเสียจากการผลิตประมาณ 50 ลูกบาศก์เมตร/วัน ปัจจุบันโรงงานใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (aerated lagoon) ตามด้วยกระบวนการทางเคมีในการกำจัดสี โรงงานต้องการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยอาศัยระบบที่ดูแลรักษาง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลดลง และให้น้ำทิ้งมีค่าอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อมในปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น การบำบัดโดยระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) การใช้สารเคมีตกตะกอน (chemical coagulation-flocculation) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เทคโนโลยีสูง ซับซ้อน และมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ค่อนข้างสูง ทั้งในด้านการออกแบบระบบ เครื่องจักรกล พลังงาน ตลอดจนการดูแลบำรุงรักษาระบบอย่างมาก รวมทั้งระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้รับการออกแบบไม่มีความเหมาะสมกับลักษณะน้ำเสีย ส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียสูงเกินความจำเป็น

ดังนั้นการศึกษาและพัฒนาวิธีการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้เทคโนโลยีอย่างง่าย และต้นทุนต่ำ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการวางแผนการจัดการ และแก้ไขปัญหาน้ำเสีย ด้วยการใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย

แบบบึงประดิษฐ์ (constructed wetland) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและการดูแลรักษาระบบต่ำ ใช้พลังงานน้อย ง่ายต่อการดูแลรักษา สามารถดำเนินการได้เองโดยไม่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน เนื่องจากเป็นวิธีการที่อาศัยธรรมชาติให้ช่วยเหลือธรรมชาติด้วยกันเอง อาศัยพืชช่วยในการกรองหรือฟอกน้ำให้สะอาด ซึ่งเป็นผลจากการที่พืชดูดซับธาตุอาหารที่มีในน้ำเสีย และจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ ที่อาศัยอยู่ทั้งในน้ำและในดิน การวิจัยที่ผ่านมาพบว่าระบบบึงประดิษฐ์เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียทั้งน้ำเสียชุมชน น้ำเสียอุตสาหกรรม และน้ำเสียจากการทำเหมืองแร่ (Vymazal, J., 2002) และจากการศึกษาของ Tijasa G. Bulc และ Alenka Ojstrsek (2007) พบว่า ระบบบึงประดิษฐ์ สามารถกำจัดสรีแอกทีฟ สติสเฟิร์ส และสีแสด จากโรงงานสิ่งทอในประเทศสโลวาเนียได้อย่างมีประสิทธิภาพ และคุณภาพน้ำที่ได้ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้สนใจศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยระบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงาน สารเคมี ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดน้ำเสีย โดยทำให้คุณภาพของแหล่งรองรับน้ำทิ้งดีขึ้น เกิดความสมดุลของระบบนิเวศน์และสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้การใช้พืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียยังได้รับผลพลอยได้จากการนำพืชไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- (1) ศึกษาประสิทธิภาพระหว่างต้นธูปฤาษี และต้นแฝก ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์
- (2) ศึกษาประสิทธิภาพของระดับน้ำท่วมขังในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์
- (3) ศึกษาระยะเวลาที่น้ำท่วมขังในระบบที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์
- (4) ศึกษาลักษณะการไหลของน้ำในระบบที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- (1) ทดลองกับน้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิกของโรงงานเจริญชัยการย้อม
- (2) ตัวแปรที่ศึกษามีดังนี้
 - ชนิดของพืช 2 ชนิด ได้แก่ ต้นธูปฤาษี และต้นแฝก
 - ระดับน้ำท่วมขังในระบบ
 - ระยะเวลาที่ให้น้ำท่วมขัง
- (3) วิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ ดังนี้ ค่าพีเอช ค่าความนำไฟฟ้า ค่าความขุ่น สีของน้ำ ปริมาณ ของแข็งแขวนลอย ปริมาณของแข็งละลาย ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี

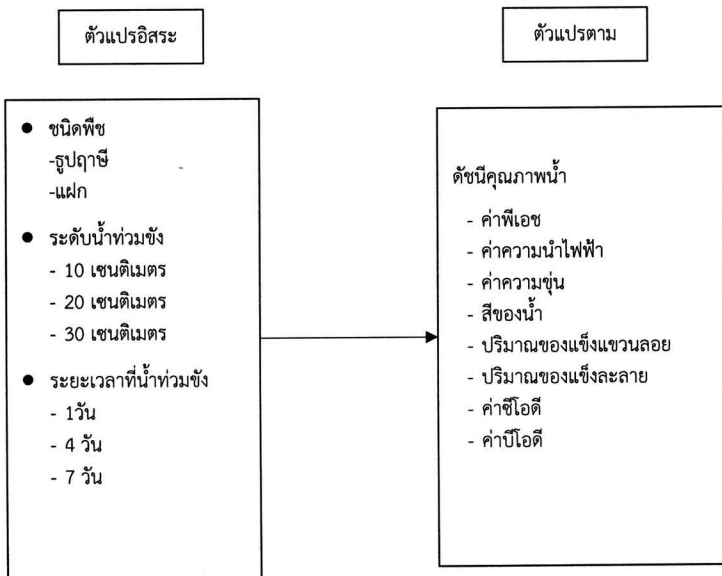
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- (1) แนวทางในการประยุกต์ใช้ระบบบึงประดิษฐ์สำหรับการบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอที่ใช้เทคโนโลยีอย่างง่าย เน้นต้นทุนต่ำ สะดวกในการดูแลรักษาระบบ และมีประสิทธิภาพ
- (2) แนวทางในการพึ่งพาตนเองโดยไม่ต้องใช้เทคโนโลยีจากต่างประเทศ

1.5 สมมุติฐานการวิจัย

ประสิทธิภาพของระบบการบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก มีความสัมพันธ์กับตัวแปรต่อไปนี้ ชนิดพืชที่ปลูก ระดับน้ำท่วมขัง ระยะเวลาที่ให้น้ำท่วมขัง

1.6 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย



บทที่ 2

เอกสารและรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การย้อมสีเส้นใยอะคริลิก

2.1.1 เส้นใยอะคริลิก

เส้นใยอะคริลิกเป็นเส้นใยที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์อะคริโลไนไตรล (acrylonitril monomer) มาเรียงต่อกันเป็นโมเลกุลเส้นตรงที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งโดยปกติเส้นใยอะคริลิกเป็นเส้นใยที่ย้อมได้ยากมาก เนื่องจากอุณหภูมิการเปลี่ยนเนื้อแก้ว (glass transition temperature, T_g) มีค่าค่อนข้างสูง ($>100\text{ }^{\circ}\text{C}$) ดังนั้นในการผลิตอะคริโลไนไตรลจึงถูกโคพอลิเมอร์ไรซ์ (copolymerize) กับมอนอเมอร์อื่นอย่างน้อย 1 ชนิด ในความเข้มข้นร้อยละ 5-10 มอนอเมอร์ที่นิยมใช้ ได้แก่ มอนอเมอร์ที่มีหมู่ซัลโฟนิค (sulfonic) และหมู่กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) นอกจากนี้ยังมีมอนอเมอร์ที่มีหมู่แอมีน (amine) หรือหมู่ควอเตอร์นารีแอมีน (quaternary amine) ผลจากการทำโคพอลิเมอร์ ทำให้ได้เส้นใยที่มีสูตรโครงสร้างที่เปราะมากขึ้น และมี T_g ต่ำลง เหลือประมาณ $85-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งช่วยทำให้สีเข้าไปในโมเลกุลเส้นใยอะคริลิกได้ง่ายขึ้น

2.1.2 สีย้อมแคตไอออนิก (cationic dyestuffs)

สีย้อมแคตไอออนิก แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

(1) สีย้อมที่แสดงประจุบวก (localized charge(+)) บนอะตอมไนโตรเจน

(2) สีย้อมเบสิกดัดแปลง (modified basics) ซึ่งดัดแปลงมาจากสีย้อมกลุ่มแรก แต่เป็นสีย้อมที่ไม่แสดงประจุบวก สีย้อมแคตไอออนิก ที่ใช้กันในปัจจุบันมักอยู่ในรูปนี้ สีย้อมกลุ่มนี้ค้นพบในปี ค.ศ. 1954 และเป็นสีที่ให้ความคงทนต่อแสงบนเส้นใยอะคริลิกดีมาก

สีย้อมทั้งสองกลุ่มนี้ ช่วยให้ย้อมสีเส้นใยอะคริลิก ได้เฉดสีที่สดใส และให้ความคงทนดี

2.1.3 ภาวะที่ใช้ในการย้อม (dyeing condition)

(1) ความเป็นกรดของน้ำสี (acidity of the dye liquor)

สีย้อมเบสิกจะถูกดูดซึมโดยเส้นใยอะคริลิกในช่วง พีเอช 2-7 อย่างไรก็ตาม สีย้อมบางตัวจะสลายตัวที่พีเอชมากกว่า 6 ทำให้การย้อมสีประเภทนี้มักใช้พีเอชในช่วง 4.5-5.0 ซึ่งการปรับพีเอชให้ได้ค่าที่ต้องการนี้ ทำได้โดยการเติมกรดแอซิดิก หรือบัฟเฟอร์ที่เตรียมจากกรดแอซิดิก และโซเดียมแอซิดเตท กรดและเกลือที่เกิดจากการดัดแปลงอื่นก็อาจนำมาใช้ในการปรับพีเอชได้ แต่สิ่งที่ต้องระวังคือ พีเอชจะต้องอยู่ในช่วง 4.5-5.0 ตลอดการย้อม

(2) อุณหภูมิที่ใช้ในการย้อม (dyeing temperature)

เส้นใยอะคริลิกจะดูดซึมสีเบสิกได้หมดก็ต่อเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 90°C และสีจะติดได้ดีในช่วงอุณหภูมิ $96-98^{\circ}\text{C}$ ในช่วงอุณหภูมิต่ำประมาณ $40-70^{\circ}\text{C}$ สีเบสิกจะถูกดูดซับไว้ที่ชั้นนอกสุด หรือผิวเส้นใยเท่านั้น ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงนี้จึงสามารถเพิ่มได้อย่างรวดเร็ว แต่ที่อุณหภูมิ 70°C หรือมากกว่านี้ การเพิ่มอุณหภูมิจะต้องเป็นไปอย่างช้าๆ เพื่อให้การดูดซึมสีเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ในช่วงนี้สามารถลดลงได้โดยการเติมสารลดการติดสีลงไปในอ่างย้อม และเพื่อให้ได้ผลการย้อมที่ดี สัมมีความคงทนสูง เวลาที่ใช้ในการย้อมที่อุณหภูมิ 98°C ควรจะนานประมาณ 30-60 นาที สำหรับสีอ่อนถึงสีปานกลาง และ 60-90 นาทีสำหรับสีเข้ม

การย้อมสีโดยใช้ความดันจะทำให้สีแพร่กระจายเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้น เป็นผลให้การดูดซึมสีดีขึ้น ระยะเวลาในการย้อมสั้นลง และสัมมีความสม่ำเสมอขึ้น โดยปกติแล้วอุณหภูมิที่ใช้ในการย้อมวิธีนี้จะเป็น 105°C ซึ่งที่อุณหภูมินี้กระบวนการย้อมจะเสร็จสมบูรณ์โดยใช้เวลา 20-30 นาที

(3) การเตรียมก่อนการย้อม (preparation)

โดยทั่วไปแล้วผ้าและเส้นด้ายอะคริลิกไม่ต้องผ่านการซักล้างทำความสะอาด (scouring) ก่อนการย้อม เนื่องจากการล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิ $40-60^{\circ}\text{C}$ ก็เพียงพอแล้วสำหรับการชะล้างสิ่งสกปรกที่เจือปนมาระหว่างการผลิตเส้นด้ายและผ้า ในกรณีที่มีสิ่งสกปรกเจือปนมาก ก็อาจซักล้างได้โดยใช้สารซักฟอกที่ไม่มีประจุ (nonionic detergents) ในสารละลายต่างอ่อนๆ ที่มี ไตรหรือเตตระโซเดียมฟอสเฟต (tri- or tetrasodium phosphate) ที่อุณหภูมิ $50-70^{\circ}\text{C}$ นาน 10-20 นาที ในกรณีที่ต้องมีการซักล้างก่อนการซักล้างจริง (prescouring) ควรหลีกเลี่ยงการใช้สารซักฟอกที่มีประจุลบ (anionic detergents) และแอมโมเนีย เพราะสารทั้งสองชนิดจะทำให้สีไม่สม่ำเสมอ

(4) การละลายสี (dissolving of the dyestuff)

สีเบสิกละลายได้บ้างในน้ำเดือดแต่ก็ไม่มากนัก ดังนั้นในการละลายสีย้อมประเภทนี้จึงควรทำตามคำแนะนำที่แนบมากับสีแต่ละชนิด สีบางชนิดอาจต้องเตรียมเป็น paste สีก่อนโดยใช้กรดแอซิดิก แล้วจึงค่อยนำ paste สีนั้นมาละลายในน้ำเดือด $40-50^{\circ}\text{C}$ เท่า สำหรับสีบางชนิด การละลายสามารถทำได้โดยการโรยผงสีลงไปในอ่างผสมที่มีน้ำร้อนผสมกับกรดแอซิดิก แล้วจึงต้มแต่ไม่ให้เดือด ก่อนจะเทน้ำสีลงในเครื่องย้อมก็ควรจะกรองน้ำสีก่อน

(5) สูตรสี (dye formula)

ในการย้อมควรเติมสารช่วยย้อมต่างๆ (auxiliaries) ลงในอ่างย้อมก่อนเร่งอุณหภูมิจนถึง 50°C แล้วจึงใส่วัสดุที่จะย้อม และน้ำสีที่กรองแล้วลงไป เร่งอุณหภูมิจนเดือดภายใน 20-30 นาที แล้วย้อมที่อุณหภูมิจุดเดือดนาน 30-60 นาที

สูตรของการย้อมเป็นดังนี้

0.25-0.5%	ตัวช่วยให้สารเข้ากันแบบไม่มีประจุ (nonionic compatibilizer)
0.5-1.0%	โซเดียมแอซีเทต
1.0-2.0%	กรดแอซติก (56%) เพื่อปรับพีเอชให้ได้ 4.5
X%	สารชะลอการติดสี/สารช่วยการแพร่ของสี (retarders/migrators)
Y%	สีย้อม

2.2 ทฤษฎีของระบบแบบบึงประดิษฐ์

2.2.1 ที่มาของบึงประดิษฐ์

บึงหรือพื้นที่ชุ่มน้ำ (wetlands) หมายถึง พื้นที่ซึ่งมีน้ำท่วมถึงหรือชุ่มไปด้วยน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดินในระยะเวลาานพอที่จะทำให้พื้นที่นั้นคงสภาวะการอ้อมตัวด้วยน้ำไว้ได้ (U.S. EPA, 1988) โดยในพื้นที่ชุ่มน้ำนี้ยังเป็นบริเวณที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนพลังงาน และสารอาหารระหว่างดวงอาทิตย์กับสิ่งมีชีวิตที่อาศัยภายในบึง นอกจากนี้บึงยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ต่างๆมากมาย เช่น เต่า กบ งู ปลา เป็ด นกอพยพเป็นต้น เป็นสถานที่ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสามารถรักษาสสมดุลให้กับสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปแล้วความลึกของน้ำในบึงจะมีระดับแตกต่างกันไป (โดยปกติจะมีค่าน้อยกว่า 0.6 เมตร) และน้ำจะไหลผ่านเข้าในพืชที่ขึ้นกันอยู่หนาแน่นอย่างช้าๆ ส่วนใหญ่เป็นพืชที่ทนต่อสภาพน้ำท่วมและสภาพขาดออกซิเจนของดิน ได้แก่พืชจำพวกธูปฤๅษี กก หรือแฝก โดยทั่วไปแล้วการใช้บึงธรรมชาติในการบำบัดของเสียจะมีรูปแบบของการไหลในแนวนอน โดยบึงธรรมชาติจะสามารถบำบัดของเสียได้ด้วยกระบวนการกรอง การตกตะกอน การดูดซับสารอาหารของพืชและการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียโดยระบบบึงธรรมชาติได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงธรรมชาติ

พารามิเตอร์	ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละ)
สารอินทรีย์	70-96
ของแข็งแขวนลอย	60-90
ไนโตรเจน	40-90

ที่มา: Reed, S.C. และคณะ, 1995.

จากข้อมูลประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียโดยระบบบึงธรรมชาติที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 พบว่าระบบบึงธรรมชาติ สามารถใช้เป็นแหล่งรองรับและบำบัดของเสียได้ในระดับหนึ่ง โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการออกแบบและก่อสร้างระบบบำบัดขึ้นมาใหม่ อย่างไรก็ตามแหล่งกำเนิดของเสียที่ต้องการบำบัดด้วยบึงธรรมชาติควรอยู่ใกล้กับบึง มิเช่นนั้นจะมีค่าใช้จ่ายในการรวบรวมและขนถ่าย

ของเสียมาสู่บึงเพิ่มขึ้น ดังนั้นระยะห่างระหว่างบึงธรรมชาติและแหล่งกำเนิดของเสีย จึงเป็นข้อจำกัดหลักของการเลือกใช้บึงธรรมชาติในการบำบัดของเสีย

บึงประดิษฐ์ (constructed wetlands) ได้ถูกสร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเลียนแบบ บึงหรือพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติด้วยการปลูกพืชชนิดต่างๆ เช่น พืชจำพวก อ้อ (*Phragmites*) กก (*Scirpus*) และธูปฤาษี (*Typha*) บนทราย กรวดหรือดินซึ่งใช้เป็นตัวกรอง ในบางครั้งบึงประดิษฐ์อาจถูกออกแบบให้มีรูปร่างแตกต่างกันไป แต่ส่วนใหญ่แล้วจะมีลักษณะเป็นร่องหรือช่องแคบๆ และยาว

การสร้างบึงประดิษฐ์จะช่วยหลีกเลี่ยงข้อขัดแย้ง และปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ที่อาจเกิดจากการใช้บึงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสียได้ นอกจากนี้บึงประดิษฐ์สามารถออกแบบเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้สูงสุด บึงประดิษฐ์จะมีความแตกต่างกับบึงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติตรงที่บึงตามธรรมชาติมีข้อจำกัดว่าแหล่งกำเนิดน้ำเสียต้องตั้งอยู่ใกล้กับบึง แต่สำหรับบึงประดิษฐ์นั้นสามารถสร้างได้เกือบทุกพื้นที่ แม้แต่ในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดในเรื่องการใช้ที่ดิน โดยทั่วไปแล้วบึงประดิษฐ์จะมีประสิทธิภาพการทำงานได้ดีกว่าบึงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติที่มีขนาดพื้นที่เท่ากัน เพราะจะมีการปรับระดับดินที่พื้นบ่อและมีการควบคุมระบบการไหลของน้ำภายในบ่อ และสามารถปรับเปลี่ยน หรือดัดแปลงกระบวนการทำงานต่างๆ ภายในบ่อได้ตามความต้องการ โดยอาศัยหลักการจัดการเกี่ยวกับพืชและองค์ประกอบอื่นๆ ของระบบ (Reed, S.C. และคณะ, 1995)

บึงประดิษฐ์ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ประหยัดและมีประสิทธิภาพดีระบบหนึ่ง ซึ่งใช้ประโยชน์จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างพืชที่ปลูกในระบบกับจุลินทรีย์ในการกำจัดของเสีย โดยทั่วไปแล้วบึงประดิษฐ์ได้ถูกออกแบบและควบคุมให้มีการทำงานโดยมีรูปแบบการไหลของน้ำในแนวนอน (horizontal-flow) ซึ่งได้แก่ ระบบที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (free water surface flow) และระบบที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (subsurface flow) ในขณะที่บึงประดิษฐ์ที่มีรูปแบบการไหลของน้ำในแนวตั้ง (vertical-flow) โดยทั่วไปจะใช้ในการกำจัดกากตะกอนหรือของเสียจากบ่อเกรอะซึ่งมีของแข็ง (solids) เป็นส่วนประกอบอยู่ปริมาณมาก

2.2.2 องค์ประกอบของบึงประดิษฐ์ (Wetland Component)

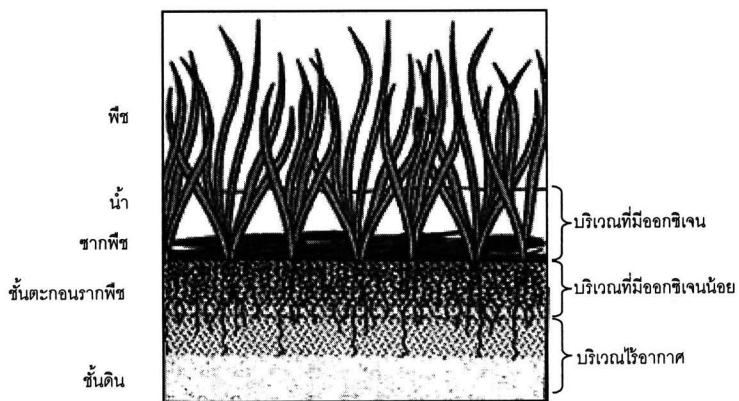
องค์ประกอบของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลมีดังต่อไปนี้

(1) ชั้นกรอง (substrata)

ชั้นกรองที่เลือกนำมาใช้ในบึงประดิษฐ์มักเป็นวัสดุที่มีในธรรมชาติ คือ กรวด หิน และทราย ซึ่งสามารถหาได้ทั่วไป โดยจะใช้เพียงชนิดหนึ่งชนิดใดหรือใช้รวมกันก็ได้ ช่องว่างในชั้นกรองเหล่านี้จะใช้เป็นช่องทางการไหลของน้ำในระบบบึงประดิษฐ์ นอกจากจะเป็นที่อยู่ของพืชและที่ยึดเกาะสำหรับจุลินทรีย์แล้วชั้นกรองยังเป็นพื้นที่ ในการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบต่างๆ ด้วย ลักษณะทางกายภาพของชั้นกรองก็มีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียด้วย ตัวอย่างเช่นชั้นกรองที่เป็นทรายหรือกรวดนิยมนำมาใช้สำหรับบำบัดน้ำเสีย เพราะมีอนุภาคขนาดใหญ่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันขึ้นกับระบบ และพืชสามารถยึดเกาะได้ง่าย

ชั้นกรองของระบบบึงประดิษฐ์แบ่งได้เป็น 3 ระดับตามปริมาณ ของออกซิเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งได้แก่

- บริเวณที่มีออกซิเจน (aerobic) เป็นบริเวณผิวน้ำของระบบบึงประดิษฐ์ บริเวณนี้ น้ำเสียสามารถแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับอากาศได้
- บริเวณที่มีออกซิเจนน้อย (mildly anaerobic) เป็นบริเวณที่อยู่ถัดจากชั้นที่มีออกซิเจน (aerobic) ชั้นนี้เป็นชั้นที่มีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างน้อย เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีซากพืชสะสมอยู่ อย่างไรก็ตามระบบรากของพืชที่ยึดเกาะอยู่ในชั้นนี้สามารถปล่อยออกซิเจนออกมาสู่ชั้นกรองได้บางส่วน
- บริเวณที่ไร้ออกซิเจน (strongly anaerobic) เป็นบริเวณที่อยู่ชั้นสุดท้ายหรือล่างสุดของชั้นกรอง และในบริเวณนี้จะอยู่ในสภาพไร้อากาศ



รูปที่ 2.1 ชั้นกรองของระบบบึงประดิษฐ์

(2) จุลินทรีย์ (microbial organisms)

จุลินทรีย์ที่พบในบึงประดิษฐ์ มีมากมายหลายชนิด เช่น แบคทีเรีย รา สาหร่าย และโปรโตซัว ซึ่งภายในบึงประดิษฐ์นี้ สามารถแบ่งชนิดของจุลินทรีย์ได้เป็น 2 ชนิด คือ

- แบคทีเรียชนิดแขวนลอย (suspended-growth bacteria) คือ แบคทีเรียที่เจริญเติบโต และอาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำของระบบบึงประดิษฐ์เป็นแบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ
- แบคทีเรียชนิดเกาะติด (attached-growth bacteria) คือ แบคทีเรียที่เจริญเติบโต และอาศัยอยู่ในส่วนที่จมอยู่ในน้ำของพืช (ราก, ลำต้น) ในดิน ทราวย หรือเกาะบนตัวกลางโดยตรงสำหรับบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดิน นอกจากนี้จุลินทรีย์ต่างๆ ยังสะสมอยู่ในชั้นตะกอนบริเวณด้านล่างของระบบบึงประดิษฐ์ด้วย

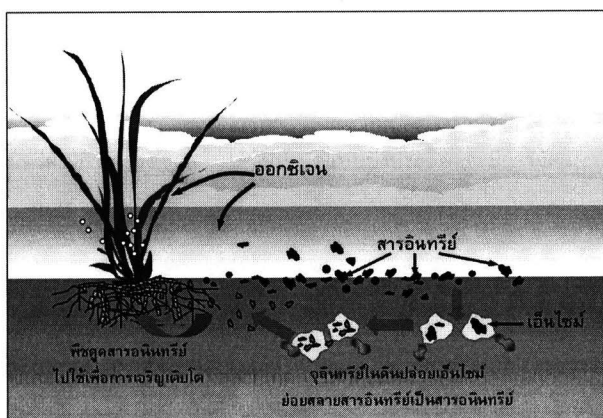
โดยทั่วไปจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสารปนเปื้อนในน้ำเสียให้เป็นอาหาร และ พลังงานสำหรับการดำรงชีพ ซึ่งแหล่งพลังงานหลักของจุลินทรีย์ คือสารอินทรีย์และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจะใช้สารอินทรีย์ในการสร้างเซลล์ ในระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์จะมีการจัดสภาวะแวดล้อมให้มีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เหล่านี้ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้บึงมีประสิทธิภาพการกำจัดของเสียที่ดี

2.2.3 การทำงานของระบบบึงประดิษฐ์

(1) กำจัดสารอินทรีย์ (organic matter removal) พวก BOD และ COD

โดยพืชและจุลินทรีย์ นำไปย่อยสลายเกิดการตกตะกอน (sedimentation) เกิดขึ้น ดังรูปที่

2.2



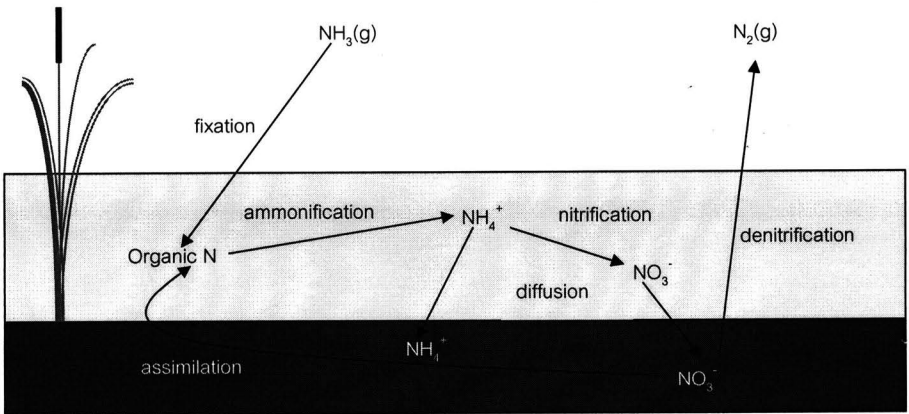
รูปที่ 2.2 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์ในระบบพืชบำบัดน้ำเสีย
ที่มา: เกษม จันทรแก้ว, 2551.

(2) กำจัดของแข็ง (solid removal)

โดยการตกตะกอนและกรองผ่านชั้นดิน (sedimentation and filtration)

(3) กำจัดไนโตรเจน (nitrogen removal)

โดย พืชใช้เป็นอาหาร (plant uptake) และแอมโมเนียเกิดการระเหย (NH_3 volatilization) โดยจุลินทรีย์ จากกระบวนการ ammonification nitrification และ denitrification ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กระบวนการกำจัดไนโตรเจนในระบบพืชบำบัดน้ำเสีย

(4) กำจัดฟอสฟอรัส (phosphorus removal)

โดย พืชและจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหาร และถูกดูดซับบนดิน (adsorption) โดยตกตะกอนกับไอออนบวก พวก Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} และ Mn^{2+}

(5) กำจัดแบคทีเรียและไวรัส (bacteria and viruses removal)

โดย กระบวนการทางกายภาพ ได้แก่ การตกตะกอนและ การกรอง การแข่งขันกันของจุลินทรีย์ในธรรมชาติ (natural die-off) และถูกทำลายโดยแสงแดด

2.2.4 ประเภทของบึงประดิษฐ์

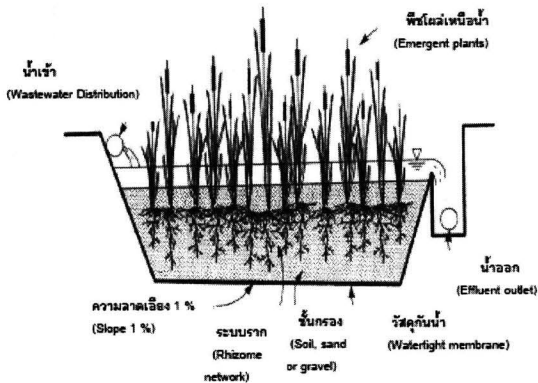
บึงประดิษฐ์แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

- ประเภทที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (free water surface: FWS) ซึ่งมีระดับความลึกของน้ำไม่มากนัก
- ประเภทที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (subsurface flow: SF) หรือระบบที่ปลูกพืชในชั้นกรอง (vegetated submerged bed: VSB) ซึ่งจะมีน้ำไหลผ่านด้านข้างตัวกรองที่อาจเป็นกรวดหรือทราย
- ประเภทที่น้ำไหลผ่านใต้ผิวชั้นกรองในแนวตั้ง (vertical flow) ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ในการรีดน้ำออกจากกากตะกอน หรือสิ่งปฏิกูลตามอาคารบ้านเรือนซึ่งจะมีของแข็งเป็นส่วน ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก

ทั้งนี้ บึงประดิษฐ์ทั้ง 3 ประเภทนี้ สามารถแบ่งตามแนวการไหลเป็น บึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวนอน และบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวตั้ง

(1) บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (free water surface systems:FWS)

ระบบนี้โดยทั่วไปจะประกอบด้วยแอ่งหรือร่องน้ำ ที่มีการเคลือบหรือฉาบวัสดุกันน้ำที่ทำจากดินเหนียวหรือจากวัสดุทางด้านธรณีวิทยาอื่นๆ ทั้งที่สร้างขึ้นหรือมีอยู่ตามธรรมชาติบนพื้นบ่อ เพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำ และประกอบไปด้วยดินและวัสดุตัวกรองต่างๆ ที่จะช่วยให้รากพืชสามารถยึดเกาะอยู่ได้ โดยน้ำที่ความลึกระดับหนึ่งจะไหลอยู่เหนือผิวดินหรือชั้นกรอง (รูปที่ 2.4) ถ้าการกระจายน้ำเข้าสู่ระบบเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบึงประดิษฐ์ที่มีพื้นที่แคบ ยาว และมีระดับความลึกของน้ำในบ่อไม่มากนัก ประกอบกับน้ำมีการไหลอย่างช้าๆ ผ่านกึ่งก้นของพืชที่แผ่กระจายอยู่ทั่วไปในระบบ จะทำให้เกิดการไหลของน้ำแบบไหลตามกัน (plug-flow) ขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ปัญหาการไหลล้นตัวของระบบลดลงได้ ระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีค่าภาระบีโอดีอยู่ในช่วง 5-100 มิลลิกรัม/ลิตร (U.S.EPA, 1999)



รูปที่ 2.4 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (FWS)

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2546.

ข้อดี ของบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ คือ

- มีค่าก่อสร้างระบบน้อยกว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน และบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวตั้ง
- เป็นระบบที่ดูแลรักษาง่าย
- ใช้พลังงานในการเดินระบบน้อย
- ระบบไม่ผลิตตะกอนที่ต้องบำบัดในขั้นต่อไป
- เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำต่างๆ ได้

ข้อจำกัด ของบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ คือ

- เป็นระบบที่ต้องใช้พื้นที่มาก และมีเวลาเก็บกักที่นาน เมื่อน้ำเสียที่เข้าระบบมีปริมาณในโตรเจนหรือฟอสฟอรัสสูง
- มีข้อจำกัดในการกำจัดพีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (fecal coliform) ซึ่งส่งผลทำให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบมักมีปริมาณพีคัลโคลิฟอร์มเกินกว่าค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างเกณฑ์การออกแบบระบบบึงประดิษฐ์แบบ free water surface wetland

เกณฑ์การออกแบบ (design criteria)		
หน่วยบำบัด	พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ออกแบบ
ระบบบึง	Maximum BOD Loading	
ประดิษฐ์แบบ	กรณีที่ต้องการค่า BOD ของน้ำทิ้ง 20 มิลลิกรัม/ลิตร	4.5 กรัม/ตารางเมตร-วัน
Free Water	กรณีที่ต้องการค่า BOD ของน้ำทิ้ง 30 มิลลิกรัม/ลิตร	6.0 กรัม/ตารางเมตร-วัน
Surface :		
FAS	Maximum TSS Loading	
	กรณีที่ต้องการค่า TSS ของน้ำทิ้ง 20 มิลลิกรัม/ลิตร	3.0 กรัม/ตารางเมตร-วัน
	กรณีที่ต้องการค่า TSS ของน้ำทิ้ง 30 มิลลิกรัม/ลิตร	5.0 กรัม/ตารางเมตร-วัน
	ขนาดบ่อ (ความยาว : ความกว้าง)	3 : 1-5 : 1
	ความลึกน้ำ (เมตร)	
	ส่วนที่ 1 และ 3	0.6-0.9 เมตร*
	ส่วนที่ 2	1.2-1.5 เมตร
	Minimum HRT (at Qmax) ของส่วนที่ 1 และ 3 (วัน)	2 วัน
	Maximum HRT (at Qave) ของส่วนที่ 2 (วัน)	2-3 วัน

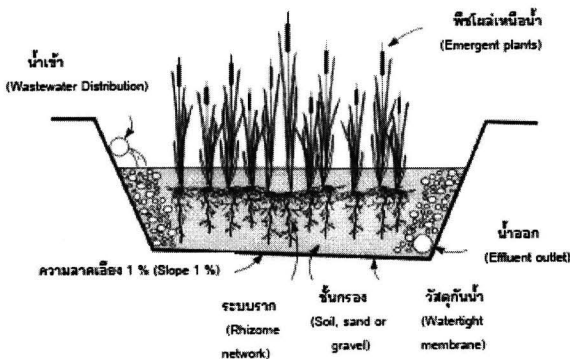
หมายเหตุ: TSS = ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (total suspended solids)
 Qmax = maximum monthly flow และ Qave = average flow,
 HRT = เวลาเก็บกักน้ำ (hydraulic retention time)

ที่มา: Constructed wetlands treatment of municipal wastewater, EPA/625/R-99/010

(2) บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (subsurface flow systems: SF)

ระบบนี้โดยทั่วไปประกอบด้วยร่องยาวหรือพื้นดิน ที่เคลือบหรือฉาบด้วยวัสดุกันน้ำไว้ด้านล่างเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำ และตัวกรองเพื่อช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะ และพืชเจริญเติบโตได้ (รูปที่ 2.5) ตัวกรองที่ใช้อาจเป็นหินหรือหินบด (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-15 เซนติเมตร) กรวดและดินชนิดต่างๆ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน (Reed, S.C., และคณะ., 1995)

การที่น้ำเสียไหลผ่านด้านข้างของตัวกรองจะทำให้น้ำเสียถูกบำบัดในระหว่างสัมผัสกับผิวหน้าของตัวกรองและส่วนรากของพืช บริเวณใต้ชั้นกรองจะอิมตัวด้วยน้ำอยู่ตลอดเวลาซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศ (anaerobic) ขึ้นอย่างไรก็ตามพืชยังสามารถดึงออกซิเจนเข้าไปยังส่วนรากซึ่งทำให้จุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศ (aerobic microsites) สามารถเจริญเติบโตในส่วนราก และไรโซมของพืชได้ ระบบนี้เหมาะกับการบำบัดน้ำเสียที่ภาระสารอินทรีย์ปานกลาง โดยมีความเข้มข้นของบีโอดีอยู่ในช่วง 30-175 มิลลิกรัม/ลิตร (U.S.EPA, 1999)



รูปที่ 2.5 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (SF)

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2546.

ข้อดี เช่นเดียวกับระบบบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ กล่าวคือ

- เป็นระบบที่ดูแลรักษาง่าย
- ใช้พลังงานในการเดินระบบน้อย
- ไม่ผลิตตะกอนที่ต้องบำบัดในขั้นต่อไป
- สามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้มากกว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ และมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงกว่า

ข้อจำกัด ของบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลได้ผิวชั้นกรองในแนวนอน คือ

- เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลง และยุง
- มีค่าก่อสร้างที่สูงกว่าบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ เพราะต้องคำนึงถึงชั้นกรอง และระบบท่อที่จะใช้ภายในระบบ
- มีข้อจำกัดในการบำบัดไนโตรเจนเพราะกระบวนการไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นได้ยากถ้าบางพื้นที่ในระบบมีสภาพไร้ออกซิเจน ดังนั้นถ้าน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูง จึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มเวลาในการเก็บกักซึ่งจะส่งผลให้ความต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างระบบ เพิ่มมากขึ้น

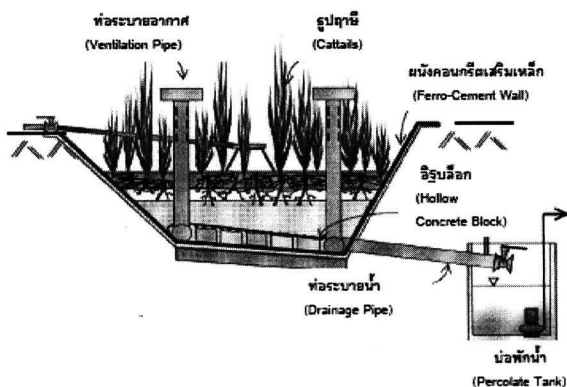
ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างเกณฑ์การออกแบบระบบบึงประดิษฐ์แบบ vegetated submerged bed system (VSB)

หน่วยบำบัด	เกณฑ์การออกแบบ (design criteria)	
	พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้อย่างเหมาะสม
ระบบบึงประดิษฐ์ แบบ Vegetated Submerged Bed : VSB	Area Loading Rate	
	กรณีที่ต้องการค่า BOD ของน้ำทิ้ง 20 มิลลิกรัม/ลิตร	1.6 กรัม/ตารางเมตร-วัน
	กรณีที่ต้องการค่า BOD ของน้ำทิ้ง 30 มิลลิกรัม/ลิตร	6 ก./ตารางเมตร-วัน
	กรณีที่ต้องการค่า TSS ของน้ำทิ้ง 30 มิลลิกรัม/ลิตร	20 กรัม/ตารางเมตร-วัน
	ความลึก (เมตร)	
	ตัวกลาง (Media) น้ำ	0.5-0.6 เมตร
		0.4-0.5 เมตร
	ความกว้าง (เมตร)	ไม่มากกว่า 61 เมตร
	ความยาว (เมตร)	ไม่น้อยกว่า 15 เมตร
	ความลาดเอียง (Slope) ของก้นบ่อ (%)	0.5-1.0
	ขนาดของตัวกลาง (Media) (นิ้ว)	1.5-3.0
	ส่วนรับน้ำเสีย (Inlet Zone)	¼-1
	ส่วนที่ใช้ในการบำบัด (Treatment Zone)	1.5-3.0
	ส่วนระบายน้ำทิ้ง (Outlet Zone)	¼-¾
	ส่วนสำหรับปลูกพืชน้ำ (Planting Media)	

ที่มา: Constructed wetlands treatment of municipal wastewater, EPA/625/R-99/010

(3) บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง (vertical flow: VF)

บึงประดิษฐ์ประเภทนี้จะมัลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกันกับบึงประดิษฐ์ประเภทที่ 1 และ 2 คือ ประกอบไปด้วยตัวกรองเพื่อช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะ และพืชเจริญเติบโตได้ ตัวกรองที่ใช้อาจเป็นหิน กรวด และทราย อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างรวมกัน น้ำเสียจะไหลผ่านชั้นกรองในแนวดิ่งโดยมีระบบการระบายน้ำอยู่ใต้ชั้นกรอง (underdrain system) และบึงประดิษฐ์ประเภทนี้ยังมีระบบระบายอากาศ (ventilation system) เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดสภาวะไร้อากาศเกิดขึ้นในส่วนรากของพืช และพื้นที่ว่างเหนือจากบริเวณผิวหน้าชั้นกรองชั้นไปจะใช้เป็นที่สะสมกากตะกอนของเสียที่ถูกกรองน้ำออกแล้ว ระบบนี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีภาระสารอินทรีย์สูงๆ เช่น สิ่งปฏิกูลได้ โดยมีความเข้มข้นของบีโอดีที่เข้าระบบอยู่ในช่วง 500–70,000 มิลลิกรัม/ลิตร (รูปที่ 2.6) (U.S.EPA, 1999)



รูปที่ 2.6 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง (VF)

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2546.

ข้อดี ของบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง คือ

- เป็นระบบที่ง่ายต่อการควบคุมดูแลและบำรุงรักษา
- มีเสถียรภาพในกรณีที่มีความแปรปรวนของสภาวะแวดล้อม
- เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่าก่อให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพขึ้นได้
- มีประสิทธิภาพในการบำบัดสิ่งปฏิกูลได้ดีกว่าการใช้ลานตากตะกอนโดยทั่วไป และ ความถี่ในการตักเอาชั้นตะกอนออกจากกระบะจะน้อยกว่าการใช้ลานตากตะกอน
- น้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นกรองสามารถทำปฏิกิริยากับจุลินทรีย์ในชั้นกรอง และทำให้เกิดปฏิกิริยาในตรึงฟอสฟอรัสส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียในส่วนที่เป็นของเหลวได้อีกด้วย

ข้อจำกัด ของบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลได้มีวัชชันกรองในแนวตั้ง คือ

- ปัญหาการเหี่ยวและร่วงโรยของพืชในระยะเริ่มต้นของการเดินระบบในกรณีที่ใช้ระบบในการบำบัดสิ่งปฏิกูลซึ่งความเข้มข้นสูง

2.2.5 ชนิดและหน้าที่ของพืชในบึงประดิษฐ์

ประโยชน์หลักที่ได้จากพืชในบึงประดิษฐ์ คือการลำเลียงออกซิเจน ระบบรากพืชในบึงประดิษฐ์จะแทงเข้าไปในดินหรือชั้นกรอง และสามารถลำเลียงออกซิเจนได้ลึกกว่าการลำเลียงออกซิเจนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติซึ่งใช้หลักการแพร่ (diffusion) เพียงอย่างเดียว

สิ่งสำคัญในการทำงานของบึงประดิษฐ์แบบ FWS คือสัดส่วนที่จมอยู่ในน้ำของพืช การกระจายกิ่งก้านของพืชที่สม่ำเสมอจะทำหน้าที่เหมือนส่วนที่ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ และเจริญเติบโต ซึ่งผลของการยึดเกาะของจุลินทรีย์เหล่านี้ถือว่าเป็นกลไกสำคัญที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย สำหรับบึงประดิษฐ์ที่มีการควบคุมการไหลของน้ำในแนวตั้ง จะพบว่าการที่พืชมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง และแผ่กระจายราก และไรโซมไปทั่วชั้นของเสีย และชั้นกรองจะทำให้เกิดช่องว่างขึ้น และช่วยป้องกันการอุดตันของชั้นกรองได้

พืชส่วนใหญ่ที่มักปลูกในบึงประดิษฐ์ ได้แก่พืชจำพวกธูปฤาษี อ้อ กก แผล และหญ้าทรงกระเทียม พืชเหล่านี้สามารถดึงออกซิเจนจากชั้นบรรยากาศได้ประมาณ 5-45 กรัมออกซิเจน/วัน-ตารางเมตร ขึ้นกับความหนาแน่นของพืชในระบบ และปริมาณออกซิเจนในดินหรือชั้นกรอง (Reed และคณะ, 1988) โดยตารางที่ 2.4 แสดงภาวะแวดล้อมสำคัญที่พืชแต่ละชนิดต้องการ และระดับความลึกสูงสุดที่รากพืชสามารถหยั่งถึง

ตารางที่ 2.4 การเติบโตของพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

ชื่อสามัญ	ชื่อ วิทยาศาสตร์	อุณหภูมิ (°C)		ความทนทานต่อ สภาพความเค็ม สูงสุด (ppt)	การหยั่งราก ของพืช (cm)	ช่วงพีเอช ที่เหมาะสม
		ช่วงที่ เหมาะสม	ช่วงที่ เหมาะสม สำหรับการ งอกของเมล็ด			
ธูปฤาษี	Typha spp.	10-30	12-24	30	30	4-10
ต้นอ้อ	Phragmites communis	12-23	10-30	45	60	2-8
ต้นกก	Juncus spp.	16-26	-	20	-	5-7.5
ต้นแผล	Scirpus spp.	16-27	-	20	76	4-9
หญ้า	Carex spp.	14-32	-	-	-	5-7.5

ที่มา: U.S.EPA, 1988.

2.2.6 กลไกและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

บึงประดิษฐ์สามารถลดค่าบีโอดี ของแข็งแขวนลอยและไนโตรเจน ได้ดีเท่ากับสามารถลดปริมาณโลหะ สารอินทรีย์ขนาดเล็ก และเชื้อโรคต่างๆได้ กลไกพื้นฐานที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การตกตะกอน การใช้สารเคมีช่วยในการตกตะกอนและการดูดซับ การทำปฏิกิริยากันระหว่างจุลินทรีย์กับบีโอดี ของแข็งแขวนลอยและไนโตรเจน และการดูดซับสารต่างๆ เข้าไปในพืช (U.S.EPA, 1988)

(1) การกำจัดบีโอดี

การกำจัดสารอินทรีย์ที่สามารถตกตะกอนได้ง่ายเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในบึงประดิษฐ์ทุกแบบ และขึ้นกับความนิ่งของน้ำในกรณีที่เป็บบึงประดิษฐ์แบบ FWS ส่วนในบึงประดิษฐ์แบบ SF นั้นจะขึ้นกับปริมาณตะกอนที่สะสมในชั้นกรองและอัตราการซึมของน้ำผ่านชั้นกรอง

หลักในการกำจัดบีโอดีประเภทที่ละลายน้ำได้ในบึงประดิษฐ์ แบบ FWS ขึ้นกับอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ และแหล่งออกซิเจนที่จะใช้ในปฏิกิริยาการกำจัดของเสีย โดยจุลินทรีย์มาจากการแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่ผิวน้ำ ซึ่งจะเกิดในกรณีที่ไม่มีสาหร่ายในระบบ ปริมาณออกซิเจนส่วนเกินจะถูกปล่อยผ่านไปยังรากของพืช และถูกนำไปใช้ในชั้นดินโดยจะไม่มีผลกระทบกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ และในบึงประดิษฐ์ที่พืชอย่างหนาแน่นจะสามารถลดการปนเปื้อนของน้ำที่เกิดจากกระแสลมได้ด้วย ตารางที่ 2.5 แสดงการกำจัดบีโอดี และของแข็งแขวนลอยในบึงประดิษฐ์ ในประเทศแคนาดา สหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย

ตารางที่ 2.5 ผลของการกำจัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอยในบึงประดิษฐ์

พื้นที่โครงการ	ปริมาณน้ำ (ลบ.ม./วัน)	ชนิดของ บึง ประดิษฐ์	บีโอดี(มก./ล)		เอสเอส(มก./ล.)		%การ กำจัด		ภาระของเสียต่อ พื้นที่ผิว(ลบ.ม./ เฮกแตร์/วัน)
			Inf.	Eff.	Inf.	Eff.	BOD	SS	
Listowel, Ontario	17	FWS ^a	56	10	111	8	82	93	-
Santee, CA	-	SF ^b	118	30	57	5.5	75	90	-
Sydney, Australia	240	SF	33	4.6	57	4.5	86	92	-
Arcata, CA	11,350	FWS	36	13	43	31	64	28	907
Emmitsburg, MD	132	SF	62	18	30	8.3	71	73	1,543
Gustine, CA	3,785	FWS	150	24	140	19	84	86	412

หมายเหตุ ^a Free water surface system ^b subsurface water flow system

ที่มา: U.S.EPA, 1988

(2) การกำจัดของแข็งแขวนลอย

การกำจัดของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นอย่างได้ผลในบึงประดิษฐ์ ดังแสดงในตารางที่ 2.5 การกำจัดของแข็งแขวนลอยในบึงประดิษฐ์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วง 2-3 เมตรแรก หลังจากที่น้ำเสียไหลผ่านช่องทางน้ำเข้ามา ซึ่งจะขึ้นกับความนิ่งและความลึกของระดับน้ำด้วย การควบคุมการกระจายน้ำเสียเข้าสู่ระบบด้วยการติดตั้งท่อกระจายน้ำจะสามารถควบคุมความเร็วในการไหลของน้ำให้ลดลงได้ ซึ่งช่วยในการกำจัดของแข็งแขวนลอย และช่วยลดภาระของเสียที่เข้ามาในระบบได้ นอกจากนี้ยังเป็น การป้องกันไม่ให้เกิดสภาวะแอนออกซิก (anoxic) ขึ้นที่ส่วนต้นของช่องทางไหลของน้ำอีกด้วย

(3) การกำจัดไนโตรเจน

โดยทั่วไปแล้วไนโตรเจนจะถูกกำจัดไปโดยปฏิกิริยาในทริฟิคเคชั่น และดีไนทริฟิเคชั่นเป็นส่วนใหญ่ ส่วนกลไกในการกำจัดไนโตรเจนอื่นๆ ได้แก่การดูดซึมไนโตรเจนเข้าไปในพืช และการระเหยของไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในบึงประดิษฐ์มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 25-85 (U.S.EPA, 1988)

(4) การกำจัดฟอสฟอรัส

การกำจัดฟอสฟอรัสในบึงประดิษฐ์จะเกิดขึ้นได้ไม่มากนัก เพราะข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาที่น้ำเสียสัมผัสกับดิน ดังนั้นกลไกในการกำจัดฟอสฟอรัสหลักๆ คืออัตราการดูดซึมฟอสฟอรัสเข้าไปในพืช และระยะเวลาที่น้ำเสียสัมผัสกับดิน (U.S.EPA, 1988)

ในกรณีที่มีความจำเป็นที่จะต้องกำจัดฟอสฟอรัส การใช้ส่วนผสมระหว่างดินเหนียว เหล็ก และอลูมิเนียมจะได้รับความนิยมค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามดินที่จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีต้องเป็นดินที่มีเนื้อละเอียดโดยอาจมีการเติมทรายเข้าไปเพื่อช่วยปรับค่าการนำไฟฟ้า ดังนั้นการเติมเหล็กหรืออลูมิเนียม เข้าไปในชั้นกรอง หรือน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบ จะช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบดีขึ้น (Steiner and Freeman., 1989)

(5) การกำจัดเชื้อโรค

เชื้อโรคส่วนใหญ่ที่พบอยู่ในบึงประดิษฐ์ ได้แก่หนอนพยาธิ แบคทีเรีย และไวรัส เชื้อโรคจำพวกแบคทีเรียและไวรัสจะถูกกำจัดได้ด้วยกลไกต่างๆ ได้แก่ การกินกันและกัน การตกตะกอน การดูดซึม และการตายที่เกิดจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่นการมีแสงอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมต่อการขยายพันธุ์ของเซลล์ เป็นต้น (U.S.EPA, 1988)

(6) การกำจัดสารอินทรีย์ขนาดเล็ก

จากการศึกษาลักษณะของน้ำเสียโดยทั่วไป พบว่าความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์สังเคราะห์ในน้ำเสียชุมชน และน้ำเสียอุตสาหกรรมมีค่าแตกต่างกัน การดูดซับสารอินทรีย์ขนาดเล็กโดยสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ และอนุภาคดินเหนียวในบึงประดิษฐ์ ถือได้ว่าเป็นกลไกทางเคมีฟิสิกส์เบื้องต้นที่ใช้ในการกำจัดสารประกอบที่ย่อยสลายตัวได้ยากออกจากระบบ ส่วนกลไกอื่นๆที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่สลายตัวได้ง่าย การตกตะกอน และการระเหยของสารประกอบอินทรีย์เป็นต้น (U.S.EPA, 1988)

2.2.7 การควบคุมและดูแลรักษาบึงประดิษฐ์

การควบคุมดูแลบึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่การควบคุมยุง และการเกี่ยวหรือตัดฟิซออกจากระบบ

(1) การควบคุมยุงในบึงประดิษฐ์

ปัญหาเรื่องยุงในบึงประดิษฐ์อาจเกิดขึ้นได้เมื่อการอินทรีย์สารที่เข้ามาในระบบมีค่าเกินกว่าที่จะบำบัดได้ และอาจเกิดขึ้นได้เมื่อมีสถานะแอนแอโรบิกเกิดขึ้นภายในบ่อ วิธีการที่ใช้ในการควบคุมยุง ได้แก่ การมีการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นที่มีประสิทธิภาพเพื่อช่วยลดภาระอินทรีย์สารก่อนเข้าสู่ระบบ การเติมน้ำเสียเข้าระบบแบบเป็นขั้นโดยการกระจายน้ำ และหมุนเวียนน้ำกลับเข้าระบบที่มีประสิทธิภาพ การดูแลจัดการเรื่องฟิซ หรือควบคุมโดยการเลี้ยงปลาหางนกยูง (*Gambusia affinis*)

(2) การเกี่ยวหรือตัดฟิซออกจากบึงประดิษฐ์

การเกี่ยวฟิซออกจากบึงประดิษฐ์ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างเช่น สภาพภูมิอากาศ ชนิดของฟิซ และปริมาณของเสียที่ปะปนมากับน้ำเสีย การเกี่ยวฟิซออกจากบึงประดิษฐ์ เพื่อวัตถุประสงค์ในการกำจัดของเสียที่คุดซึ่มเข้าไปในพืชนั้นยังไม่ค่อยได้ผลที่ชัดเจน อย่างไรก็ตามการเกี่ยวฟิซออกจากบ่อก็มีผลต่อการกำจัดของเสียในบ่อในแง่ของการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของฟิซ เพราะการเกี่ยวฟิซออกเป็นการลดความแออัดของฟิซ ซึ่งจะทำให้การควบคุมตัวอ่อนของยุงโดยใช้ปลาหางนกยูง มีประสิทธิภาพดีขึ้น

(3) ปัญหาหรือความผิดปกติในการควบคุมดูแลบึงประดิษฐ์และแนวทางแก้ไข

ความผิดปกติหรือการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงานของบึงประดิษฐ์ไปจากสภาวะตามปกติ นั้น สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดและอาจเกิดขึ้นได้มากกว่าที่คาดการณ์ไว้ ปัญหาที่พบโดยทั่วไปในบึงประดิษฐ์ มี 2 ประเภท (Grits and Knight, 1989) ได้แก่

- ปัญหาที่คาดการณ์ล่วงหน้าได้ เป็นความผิดปกติที่สามารถคาดการณ์ได้ และจะเกิดเป็นระยะ แสดงในตารางที่ 2.6
- ปัญหาที่ไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้เป็นความผิดปกติที่ไม่ได้คิดเผื่อไว้ในขั้นตอนของการออกแบบ หรือเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นได้ไม่บ่อย ซึ่งถ้านำมาคำนวณในการออกแบบระบบจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้นแสดงในตารางที่ 2.7

2.2.8 ตัวอย่างระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ในประเทศไทย

แหล่งชุมชนระดับเทศบาลหลายแห่งใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบ free water surface wetland อาทิเช่น

- เทศบาลเมืองสกลนคร ได้สร้างระบบบึงประดิษฐ์เพื่อรับน้ำหลังบำบัดจากระบบบำบัดปรับเสถียร (stabilization pond) แล้ว โดยมีขนาดของระบบสามารถรองรับน้ำเสียได้ 16,200 ลูกบาศก์เมตร/วัน ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างระบบบึงประดิษฐ์ 184.5 ไร่

- เทศบาลนครหาดใหญ่ ได้สร้างระบบบึงประดิษฐ์เพื่อรับน้ำหลังบำบัดจากระบบบำบัดปรับเสถียร (stabilization pond) แล้ว โดยมีขนาดของระบบสามารถรองรับน้ำเสียได้ 138,600 ลูกบาศก์เมตร/วัน ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างระบบบึงประดิษฐ์ 515 ไร่
- เทศบาลเมืองเพชรบุรี ได้สร้างระบบบึงประดิษฐ์เพื่อรับน้ำหลังบำบัดจากระบบบำบัดปรับเสถียร (Stabilization Pond) แล้ว โดยมีขนาดของระบบสามารถรองรับน้ำเสียได้ 10,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างระบบบึงประดิษฐ์ 22 ไร่

ตารางที่ 2.6 ความผิดปกติในบึงประดิษฐ์ที่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้

ปัจจัยที่ทำให้เกิดความผิดปกติ	ความผิดปกติที่เกิดขึ้น	ปัญหาที่เกิดจากความผิดปกติ	แนวทางการควบคุมแก้ไข
การเริ่มต้นเดินระบบ	พืชเจริญเติบโตได้ยาก และมีเส้นใยของเชื้อราเกิดขึ้น	ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียทั่วไป	ควบคุมภาระของเสียเข้าสู่ระบบ เช่น - ควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ความเข้มข้นของสารเคมี - ความเข้มข้นของสารเคมี ควบคุมความลึกของน้ำ - การปลูกพืชใหม่ และการปรับสภาพแวดล้อมในระบบ ให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่จะใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ใช้หลักการเจือจาง/การหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ การเติมสารเคมี(เช่นปูนขาว เพื่อช่วยในการปรับค่าpH ในดิน การใส่ปุ๋ย)
ฤดูกาล	เกิดการตกผลึกของตะกอนมากเกินไป	ภาระของเสียที่เข้าสู่ระบบสูง	ควบคุมภาระของเสียเข้าสู่ระบบ - อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ระบบ - ใช้หลักการเจือจาง - การหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ
		ความสามารถในการเก็บกักน้ำลดลง	เพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บกักน้ำ - แยกระบบรวบรวมน้ำเสียออกจากระบบรวมน้ำฝน - เก็บกักน้ำไว้ในบ่ออื่น - การเพิ่มระดับความลึกของน้ำ
		ระยะเวลาที่กักน้ำในระบบไม่เพียงพอ: การเกิดร่อนน้ำ	ควบคุมอัตราการไหลของน้ำทั้งออกจากระบบ การติดตั้งแผ่นกั้นน้ำ
	อุณหภูมิต่ำเกินไป	อัตราการไหลของน้ำไม่เพียงพอ เกิดการแข็งตัวของน้ำ	จัดหาแหล่งน้ำจืด การหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ การทำบ่อหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ การเติมอากาศ การควบคุมระดับความลึกของน้ำ และการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ
	การเติบโตของพืช/การสลายตัวของพืช	มีปริมาณสารเคมี ธาตุอาหาร จุลินทรีย์ที่เกิดจากการย่อยสลายของพืช และกากตะกอนจำนวนมาก	การนำน้ำไปบำบัดขั้นที่2 ต่อในบ่ออื่น การเก็บเกี่ยวพืชออก การหมุนเวียนน้ำทิ้งกลับเข้าสู่ระบบเพื่อเพิ่มระยะเวลาให้ธาตุอาหารถูกเก็บกักในระบบนานขึ้น
	การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของสิ่งมีชีวิตในระบบ (จุลินทรีย์ สาหร่าย)	ค่อยๆ ลดประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย	การนำน้ำไปบำบัดขั้นที่2 ต่อในบ่ออื่นการหมุนเวียนน้ำทิ้งกลับเข้าสู่ระบบ

ที่มา: Grits and Knight, 1989

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินงาน

3.1 อุปกรณ์

- (1) เครื่องวัดค่าพีเอช
- (2) เครื่องวัดค่าสภาพน้ำไฟฟ้า
- (3) เครื่องวัดค่าความขุ่น
- (4) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง
- (5) อุปกรณ์วิเคราะห์ซีโอดี
- (6) อุปกรณ์วิเคราะห์บีโอดี
- (7) ตู้อบ
- (8) เครื่องกรองสูญญากาศ

3.2 วิธีดำเนินงาน

รูปแบบการทดลองเป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experiment research design) แบ่งการทดลองเป็น 5 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมต้นกล้า

- (1) เตรียมถุงพลาสติกสีดำบรรจุดินที่ค่อนข้างเหลว เพื่อการเพาะชำ และอนุบาลต้นกล้า
- (2) ชำต้นกล้าในถุงเพาะชำ
- (3) ตัดแต่งกอให้สมบูรณ์ยาว ประมาณ 1 ฟุต
- (4) ดูแลบำรุงรักษาเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์

ขั้นตอนที่ 2 เตรียมระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลผ่านพื้นผิว (free water surface, FWS) ในถังพลาสติก เป็นบ่อรูปภาชี บ่อแฝก และบ่อที่ไม่ปลูกพืช ใส่ตัวกลางหินกรวดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5-1.0 เซนติเมตร บรรจุหนา 5 เซนติเมตร ทราวยาบบรรจุหนา 20 เซนติเมตร และดินผสมทรายในอัตรา 3:1 บรรจุหนา 50 เซนติเมตร และให้เวลาพืชปรับตัวก่อนเริ่มทดลอง 7 วัน โดยมีบ่อที่ไม่ปลูกพืชเป็นบ่อควบคุม

ขั้นตอนที่ 3 เติมน้ำเสียให้น้ำไหลใต้ดิน โดยทุกบ่อมีระดับน้ำเสียสูงประมาณ 30 เซนติเมตรจากระดับตัวกลาง และเติมน้ำคลองลงในบ่อที่กำหนดให้เป็นบ่อควบคุมการเติบโตของพืช โดยมีประเด็นของการทดลองดังนี้

- (1) วิเคราะห์ลักษณะน้ำทั้งก่อนเข้าระบบ
- (2) วิเคราะห์ลักษณะน้ำทั้งหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ ณ เวลา 1, 4 และ 7 วัน

(3) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทั้งจากการพอกยอมระหว่างบ่อที่ไม่ปลูกพืช บึงประดิษฐ์ที่ปลูกธูปฤาษี และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกแฝก ณ เวลาต่างๆ กัน

(4) ใช้เวลาในการชั่งน้ำในระบบที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุดจาก ข้อ (3) แปรผันระดับน้ำท่วมขัง 10, 20 และ 30 เซนติเมตร

(5) ใช้ระยะเวลาในการชั่งน้ำ ระดับน้ำท่วมขัง ที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด จาก ข้อ (3) ข้อ (4) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทั้งจากการพอกยอมระหว่างบ่อที่ไม่ปลูกพืช บึงประดิษฐ์ที่ปลูกธูปฤาษี และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกแฝก

(6) เปรียบเทียบลักษณะน้ำทั้งที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ กับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทั้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ

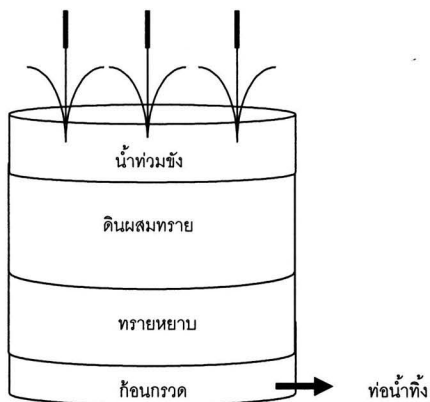
ดัชนีคุณภาพน้ำที่วิเคราะห์มีดังนี้ ค่าพีเอช ค่าความนำไฟฟ้า ค่าความขุ่น สีของน้ำ ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณของแข็งละลาย ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี

ใช้วิธีตาม American Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 20th.ed. 1998.

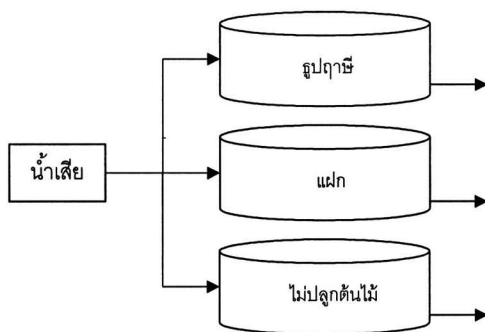
ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

(1) วิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพน้ำจากค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(2) ทดสอบค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพน้ำด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (one - way analysis of variance) โดยการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับ 0.05 เมื่อพบว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่ากลางด้วยวิธีของเชฟเฟ่ โดยให้ดัชนีคุณภาพน้ำเป็นตัวแปรตาม และชนิดพืช ระดับน้ำท่วมขัง ระยะเวลาที่น้ำท่วมขังเป็นตัวแปรต้น



รูปที่ 3.1 ระบบบึงประดิษฐ์



รูปที่ 3.2 รูปแบบการทดลอง

3.3 สถานที่ทดลอง/เก็บข้อมูล

สร้างบึงประดิษฐ์จำลองบริเวณ โรงงานเจริญชัยการย้อม

ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ที่สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก โดยศึกษาลักษณะน้ำทั้งก่อนเข้าระบบบึงประดิษฐ์ ระยะเวลาเก็บกักน้ำในระบบระดับน้ำท่วมขัง และลักษณะการไหลของน้ำในระบบ โดยใช้ตัวกลางหินกรวดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5-1.0 เซนติเมตร บรรจุหนา 5 เซนติเมตร ทราวยาบบรรจุหนา 20 เซนติเมตร และดินผสมทรายในอัตรา 3:1 บรรจุหนา 50 เซนติเมตร และใช้เวลาพีชปรับตัวก่อนเริ่มทดลอง 7 วัน

4.1 ลักษณะน้ำทั้งก่อนเข้าระบบบึงประดิษฐ์

เก็บตัวอย่างน้ำทั้งที่ผ่านการบำบัดแล้วด้วยกระบวนการเติมอากาศ จากโรงงานเจริญชัยการย้อม ลักษณะการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน แสดงในรูปที่ 4.1.1 เก็บตัวอย่างน้ำทั้งอาทิตย์ละ 2 ครั้งเป็นเวลา 5 เดือนได้ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางผนวกที่ 1ก นำผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1.1



รูปที่ 4.1.1 ลักษณะน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก

ตารางที่ 4.1.1 ลักษณะน้ำทิ้งจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก

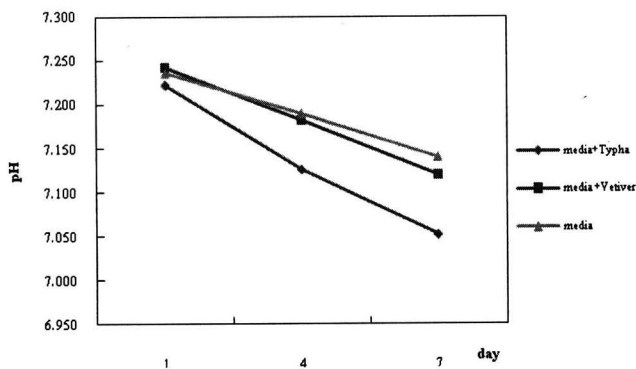
พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้				ค่ามาตรฐาน
	max	min	$\bar{X}$	SD	
พีเอช (25°C)	6.97	7.62	7.44	0.17	5.5-9.0
ความนำไฟฟ้า (μS)	713.00	883.00	814.80	53.08	
ความขุ่น (NTU)	3.58	14.30	7.24	3.15	-
ค่าการดูดกลืนแสง (ที่λ _{max} 525.5 nm)	0.1200	0.2330	0.1673	0.0348	
ของแข็งแขวนลอย (mg/L)	68.0	380.0	209.4	101.5	<50.00
ของแข็งทั้งหมด (mg/L)	492.0	850.0	616.7	89.4	
ซีโอดี (mg/L)	49.423	99.548	73.787	14.074	<120.00
บีโอดี (mg/L)	18.0	37.0	26.8	5.1	<20.00

จากการวิเคราะห์พบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการเติมอากาศของโรงงานเจริญชัยการย้อม พารามิเตอร์ส่วนใหญ่มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม ยกเว้นปริมาณของแข็งแขวนลอย และค่าบีโอดีที่มีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งเล็กน้อย

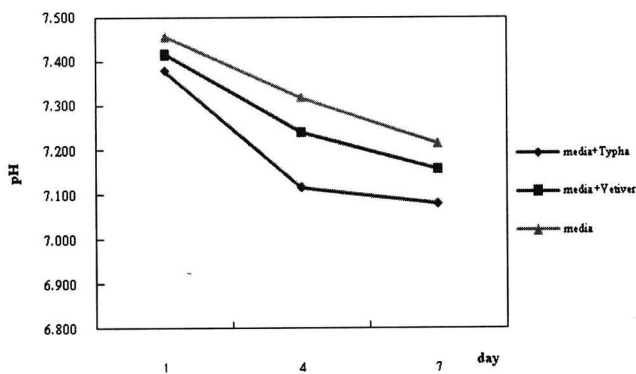
4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อปรับสภาพพีเอชของน้ำ ที่บำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์

การทดลองนี้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปรับสภาพพีเอชของน้ำ ที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก โดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานเจริญชัยการย้อม ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 1 วัน 4 วัน และ 7 วัน ตัวกรองที่ใช้ในการทดลอง คือสารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี และต้นแฝก และการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช

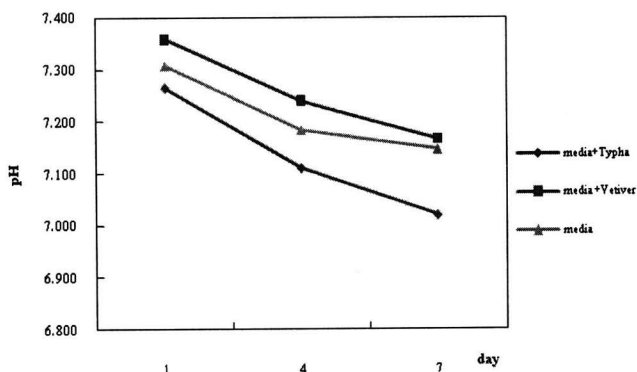
ปล่อยน้ำเสียเข้าสู่แปลงทดลองที่ปลูกธูปฤาษี แฝก และแปลงที่ไม่ปลูกพืช ทดลองที่ระดับน้ำท่วมขัง 10, 20 และ 30 เซนติเมตร วัดค่าพีเอชของน้ำเสียก่อน และหลังการบำบัด ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ผลการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 2ก-4ก นำผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบว่าชนิดของสารกรอง ระยะเวลาเก็บกักน้ำ และปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อค่าเฉลี่ยพีเอชหลังการบำบัดหรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในรูปที่ 4.2.1-4.2.3



รูปที่ 4.2.1 ค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 10 เซนติเมตร



รูปที่ 4.2.2 ค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 20 เซนติเมตร



รูปที่ 4.2.3 ค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 30 เซนติเมตร

ผลการทดลองจากรูปที่ 4.2.1-4.2.3 พบว่าที่ระดับน้ำท่วมขังทั้ง 3 ระดับ มีแนวโน้มไปทางเดียวกัน กล่าวคือ

- ระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้น ค่าพีเอชของน้ำหลังการบำบัดจะลดลงมากขึ้น
- การใช้สารกรองร่วมกับการการปลูกพืช มีค่าพีเอชของน้ำหลังการบำบัดมีแนวโน้มลดลงมากกว่าการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช
- พืชต่างชนิดกัน มีค่าพีเอชของน้ำหลังบำบัดแตกต่างกัน

และจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อทดสอบว่าชนิดของสารกรอง ระยะเวลาเก็บกักน้ำ และปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อค่าเฉลี่ยพีเอชหลังการบำบัดหรือไม่ ได้ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.2.1

ตารางที่ 4.2.1 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ จำแนกตามระยะเวลาเก็บกักน้ำ ชนิดของสารกรอง และระดับน้ำท่วมขัง

ปัจจัย	n	ระดับน้ำท่วมขัง (เซนติเมตร)								
		10			20			30		
		mean	S.D.	P	mean	S.D.	P	mean	S.D.	P
เวลากักน้ำ				0.183			<0.001			0.018
1	5	7.23	0.19		7.41	0.05		7.31	0.21	
4	5	7.17	0.17		7.22	0.10		7.18	0.17	
7	5	7.10	0.17		7.15	0.07		7.11	0.16	
ชนิดของสารกรอง				0.684			<0.001			0.195
สารกรอง+ธูปฤาษี	5	7.13	0.19		7.19	0.15		7.13	0.18	
สารกรอง+แผลก	5	7.18	0.17		7.27	0.12		7.25	0.15	
สารกรอง	5	7.19	0.18		7.33	0.11		7.21	0.24	
ผลกระทบร่วมของเวลา และ ชนิดสารกรอง				0.995			0.995			0.991

จากตารางที่ 4.2.1 ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า

ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร

- ระยะเวลาเก็บกักน้ำ และชนิดของสารกรอง ต่างกัน ให้ค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำเสียหลังการบำบัดไม่แตกต่างกัน

ระดับน้ำท่วมขัง 20 เซนติเมตร

- มีช่วงระยะเวลากักน้ำอย่างน้อย 2 ช่วงเวลา ที่มีค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำเสียหลังบำบัดต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ (multiple comparison test) แบบ

เซฟเฟ (Scheffe) ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 1 ข พบว่า ระยะเวลาถักน้ำ 1 วัน 4 วัน และ 7 วัน ให้ค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำเสียหลังบำบัดแตกต่างกัน

- มีสารกรองอย่างน้อย 2 ชนิด ที่มีค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำเสียหลังบำบัดต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่หุคูณแบบเซฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 2 ข พบว่าการใช้สารกรองร่วมกับการปลูกพืชให้ค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำเสียหลังบำบัดแตกต่างจากการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช และชนิดพืชที่ต่างกันจะมีค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำหลังการบำบัดแตกต่างกัน

ระดับน้ำท่วมขัง 30 เซนติเมตร

- มีช่วงระยะเวลาถักน้ำอย่างน้อย 2 ช่วงเวลา ที่มีค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำเสียหลังบำบัดต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่หุคูณแบบเซฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 3 ข พบว่า ที่ระยะเวลาถักน้ำ 4 วัน และ 7 วันมีค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำเสียหลังบำบัดไม่แตกต่างกัน
- การบำบัดด้วยสารกรองต่างชนิดกัน พบว่าสารกรองต่างกันให้ค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำหลังบำบัดไม่แตกต่างกัน

ปัจจัยด้านระยะเวลาถักน้ำ และชนิดของสารกรอง ไม่ได้ส่งผลร่วมกันต่อค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำหลังบำบัด ที่ระดับน้ำท่วมขัง ทุกระดับ

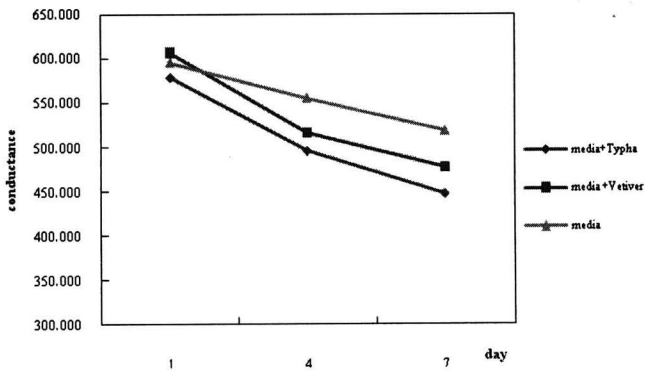
ผลการทดลองสรุปได้ว่า ระบบบึงประดิษฐ์ ช่วยปรับสภาพพีเอชของน้ำได้ ที่ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร ระบบมีประสิทธิภาพในการปรับสภาพพีเอชของน้ำสูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบค่าสถิติ F-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า การปรับสภาพค่าพีเอชของน้ำที่ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร ระยะเวลาถักน้ำ และชนิดของสารกรอง ต่างกัน ให้ค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำเสียหลังการบำบัดไม่แตกต่างกัน

4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปรับสภาพค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ ที่บำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์

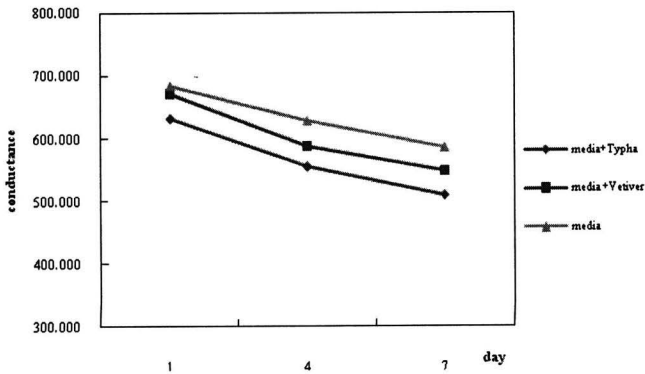
การทดลองนี้ศึกษาประสิทธิภาพการปรับสภาพค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ ที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ ในการบำบัดน้ำทั้งจากการพอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก โดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานเจริญชัยการย้อม ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสีย 1 วัน 4 วัน และ 7 วัน ตัวกรองที่ใช้ในการทดลองคือสารกรองร่วมกับการปลูกต้นรูปฤาษี และต้นแฝก และการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช โดยลักษณะการไหลของน้ำในระบบแบบน้ำไหลใต้ดินในแนวนอน

ปล่อยน้ำเสียเข้าสู่แปลงทดลองที่ปลูกรูปฤาษี แฝก และแปลงที่ไม่ปลูกพืช ทดลองที่ระดับน้ำท่วมขัง 10, 20 และ 30 เซนติเมตร วัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำเสียก่อน และหลังการบำบัด ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ผลการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 5 ก-7 ก นำผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบว่าการใช้สารกรอง และระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างกัน ตลอดจนปัจจัยร่วม

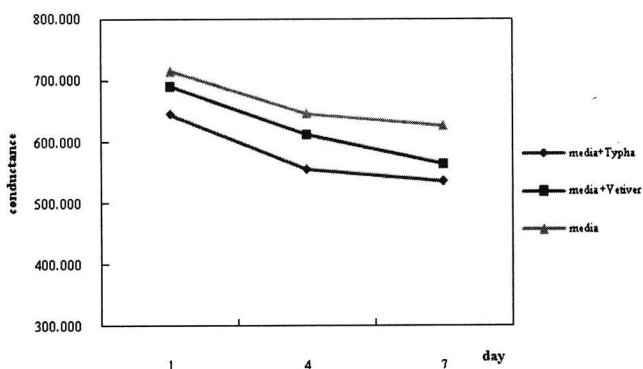
ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าหลังการบำบัดหรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในรูปที่ 4.3.1-4.3.2



รูปที่ 4.3.1 ค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 10 เซนติเมตร



รูปที่ 4.3.2 ค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 20 เซนติเมตร



รูปที่ 4.3.3 ค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 30 เซนติเมตร ผลการทดลองจากรูปที่ 4.3.1-4.3.3 พบว่าที่ระดับน้ำท่วมขังทั้ง 3 ระดับ มีแนวโน้มไปทางเดียวกัน กล่าวคือ

- ระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้น ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำหลังการบำบัดจะลดลงมากขึ้น
- การใช้สารกรองร่วมกับการปลูกพืช มีความนำไฟฟ้าของน้ำหลังการบำบัดลดลงมากกว่าการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช
- พืชต่างชนิดกัน มีค่าความนำไฟฟ้าของน้ำหลังบำบัดแตกต่างกัน

และจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อทดสอบว่าชนิดของสารกรอง ระยะเวลาเก็บกักน้ำ และปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าหลังการบำบัดหรือไม่ ได้ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.3.1

ตารางที่ 4.3.1 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าของน้ำเสียหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ จำแนกตามระยะเวลาเก็บกักน้ำ ชนิดของสารกรอง และระดับน้ำท่วมขัง

ปัจจัย	n	ระดับน้ำท่วมขัง (เซนติเมตร)								
		10			20			30		
		mean	S.D.	P	mean	S.D.	P	mean	S.D.	P
เวลากักน้ำ				<0.001			<0.001			<0.001
1	5	593.60	22.18		662.53	35.33		683.73	32.33	
4	5	522.20	29.93		590.07	37.84		604.93	41.09	
7	5	481.27	33.53		547.20	35.58		575.73	40.98	
ชนิดของสารกรอง				<0.001			<0.001			<0.001
สารกรอง+ธูปฤาษี	5	507.33	58.61		565.07	56.59		578.60	50.88	
สารกรอง+แผลก	5	533.47	58.31		602.40	57.32		662.67	54.93	
สารกรอง	5	556.27	36.30		632.33	47.78		663.13	40.80	
ผลกระทบร่วมของเวลา และ ชนิดสารกรอง				0.005			0.640			0.008

จากตารางที่ 4.3.1 ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า

ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร

- มีช่วงระยะเวลาอย่างน้อย 2 ช่วงเวลา ที่มีค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าของน้ำเสียหลังบำบัดต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบเชฟเฟ้ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 4ข-6ข พบว่า ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 1 วัน 4 วัน และ 7 วัน ให้ค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าของน้ำเสียหลังบำบัดแตกต่างกัน
- มีสารกรองอย่างน้อย 2 ชนิด ที่มีค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าของน้ำเสียหลังบำบัดต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเชฟเฟ้ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 7ข-9ข พบว่า การใช้สารกรองรวมกับการปลูกพืชให้ค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าของน้ำเสียหลังบำบัดแตกต่างจากการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช และชนิดพืชที่ต่างกันจะมีค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าของน้ำหลังการบำบัดแตกต่างกัน

ปัจจัยด้านระยะเวลากักน้ำ และชนิดของสารกรอง ไม่ได้ส่งผลร่วมกันต่อค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าของน้ำเสียหลังบำบัด ที่ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร แต่ส่งผลกระทบรวมกันต่อค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าของน้ำเสียหลังบำบัด ที่ระดับน้ำท่วมขัง 20 เซนติเมตร

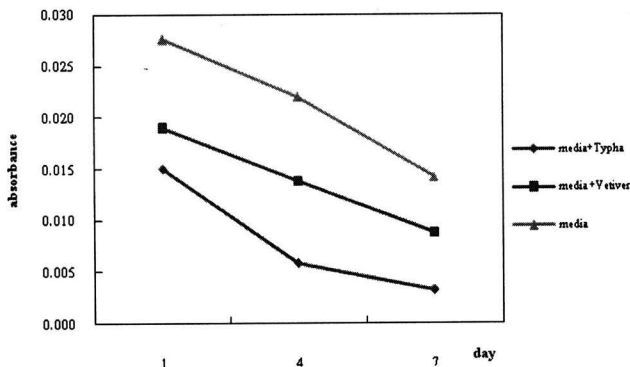
ผลการทดลองสรุปได้ว่า ระบบบึงประดิษฐ์ ช่วยลดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำได้ ที่ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร ระบบมีประสิทธิภาพในการลดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสูงที่สุด และจากผลการทดสอบค่าสถิติ F-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า การลดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำที่ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร ปัจจัยด้านระยะเวลากักน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ

บึงประดิษฐ์ในการลดค่าการนำไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยการใช้สารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี ที่ระยะเวลาเก็บน้ำ 7 วัน จะสามารถลดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำได้มากที่สุด

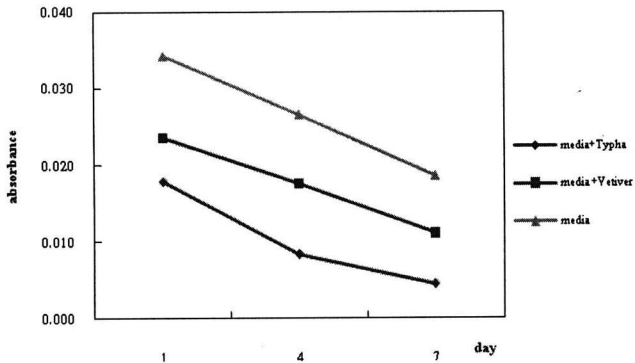
4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของน้ำ ที่บำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์

การทดลองนี้ศึกษาปัจจัยการลดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำ ที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก โดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานเจริญชัยการย้อม ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 1 วัน 4 วัน และ 7 วัน ตัวกรองที่ใช้ในการทดลอง คือสารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี และต้นแฝก และการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช

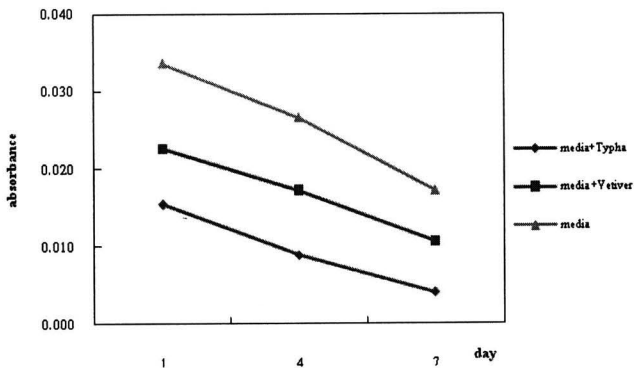
ปล่อยน้ำเสียเข้าสู่แปลงทดลองที่ปลูกธูปฤาษี แฝก และแปลงที่ไม่ปลูกพืช ทดลองที่ระดับน้ำท่วมขัง 10, 20 และ 30 เซนติเมตร วัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียก่อน และหลังการบำบัด ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ผลการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 8ก-10ก นำผลการวิเคราะห์มาหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบว่าการใช้สารกรอง และระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างกัน ตลอดจนปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงหลังการบำบัดหรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในรูปที่ 4.4.1-4.4.3



รูปที่ 4.4.1 ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 10 เซนติเมตร



รูปที่ 4.4.2 ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 20 เซนติเมตร



รูปที่ 4.4.3 ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 30 เซนติเมตร

ผลการทดลองจากรูปที่ 4.4.1-4.4.3 พบว่าที่ระดับน้ำท่วมขังทั้ง 3 ระดับ มีแนวโน้มไปทางเดียวกัน กล่าวคือ

- ระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้น ค่าการดูดกลืนของน้ำหลังการบำบัดจะลดลงมากขึ้น
- การใช้สารกรองร่วมกับการปลูกพืช มีค่าการดูดกลืนของน้ำหลังการบำบัดลดลงมากกว่าการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช
- พืชต่างชนิดกัน มีค่าการดูดกลืนของน้ำหลังบำบัดแตกต่างกัน

และจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อทดสอบว่าชนิดของสารกรอง ระยะเวลาเก็บกักน้ำ และปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลากักเก็บ

น้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อค่าเฉลี่ยการดูดกลืนหลังการบำบัดหรือไม่ ได้ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.4.1

ตารางที่ 4.4.1 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ จำแนกตามระยะเวลาเก็บกักน้ำ ชนิดของสารกรอง และระดับน้ำท่วมขัง

ปัจจัย	n	ระดับน้ำท่วมขัง (เซนติเมตร)								
		10			20			30		
		mean	S.D.	P	mean	S.D.	P	mean	S.D.	P
เวลากักน้ำ				<0.001			<0.001			<0.001
1	5	0.0205	0.0061		0.0252	0.0096		0.0239	0.0085	
4	5	0.0139	0.0071		0.0175	0.0090		0.0175	0.0081	
7	5	0.0087	0.0049		0.0114	0.0069		0.0106	0.0058	
ชนิดของสารกรอง				<0.001			<0.001			<0.001
สารกรอง+ธูปฤาษี	5	0.0080	0.0053		0.0102	0.0071		0.0094	0.0051	
สารกรอง+แฟก	5	0.0139	0.0048		0.0174	0.0069		0.0168	0.0056	
สารกรอง	5	0.0213	0.0064		0.0265	0.0090		0.0258	0.0081	
ผลกระทบร่วมของเวลา และ ชนิดสารกรอง				0.080			0.895			0.340

จากตารางที่ 4.4.1 ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า

ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร

- มีช่วงระยะเวลาอย่างน้อย 2 ช่วงเวลา ที่มีค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของน้ำเสียหลังบำบัดต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 10ข-12ข พบว่า ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 1 วัน 4 วัน และ 7 วัน ให้ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของน้ำเสียหลังบำบัดแตกต่างกัน ยกเว้นที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 4 วัน และ 7 วัน ให้ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าไม่แตกต่างกัน
- มีสารกรองอย่างน้อย 2 ชนิด ที่มีค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของน้ำเสียหลังบำบัดต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 13ข-15ข พบว่า การใช้สารกรองร่วมกับการปลูกพืชให้ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของน้ำเสียหลังบำบัดแตกต่างจากการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช และชนิดพืชที่ต่างกันจะมีค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของน้ำหลังการบำบัดแตกต่างกัน

ปัจจัยด้านระยะเวลากักน้ำ และชนิดของสารกรอง ไม่ได้ส่งผลร่วมกันต่อค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของน้ำเสียหลังบำบัด ที่ทุกระดับน้ำท่วมขัง

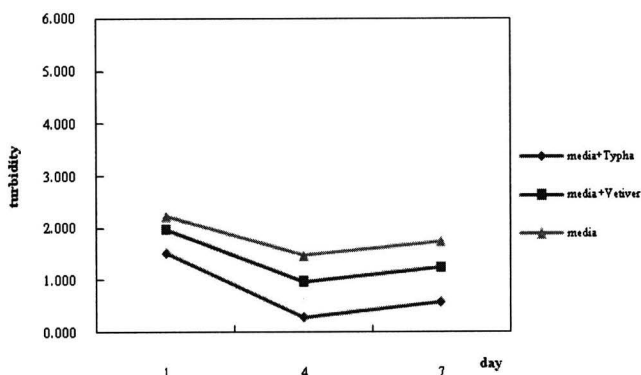
ผลการทดลองสรุปได้ว่า ระบบบึงประดิษฐ์ ช่วยลดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำได้ ที่ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร ระบบมีประสิทธิภาพในการลดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำสูงที่สุด และจากผล

การทดสอบค่าสถิติ F-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า การลดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำที่ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร ปัจจัยด้านระยะเวลาเก็บน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ในการลดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) - โดยการใช้สารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี ที่ระยะเวลาเก็บน้ำ 7 วัน จะสามารถลดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำได้มากที่สุด

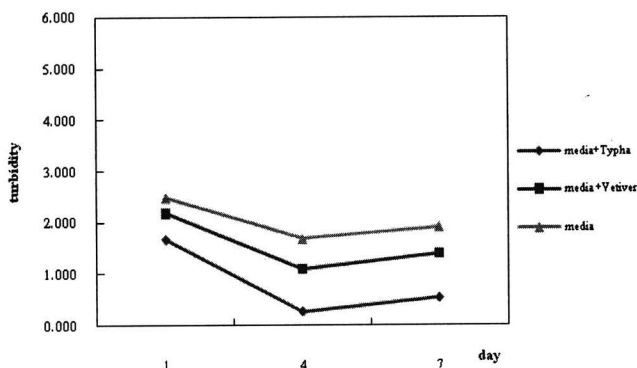
4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขุ่นของน้ำ ที่บำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์

การทดลองนี้ศึกษาปัจจัยการลดค่าความขุ่นของน้ำ ที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการพอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก โดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานเจริญชัยการย้อมระยะเวลาเก็บกักน้ำ 1 วัน 4 วัน และ 7 วัน ตัวกรองที่ใช้ในการทดลอง คือสารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี และต้นแฟก และการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช

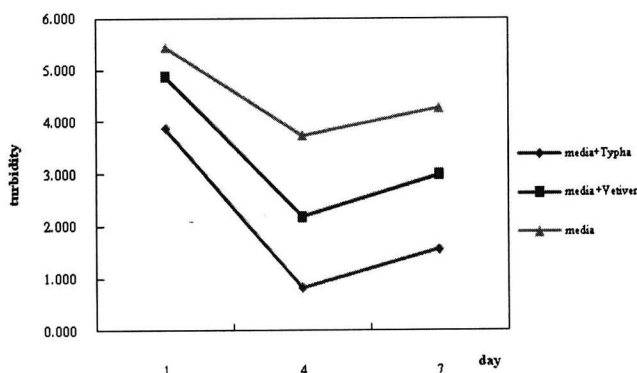
ปล่อยน้ำเสียเข้าสู่แปลงทดลองที่ปลูกธูปฤาษี แฟก และแปลงที่ไม่ปลูกพืช ทดลองที่ระดับน้ำท่วมขัง 10, 20 และ 30 เซนติเมตร วัดค่าความขุ่นของน้ำเสียก่อน และหลังการบำบัด ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ผลการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 11ก-13ก นำผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบว่าการใช้สารกรอง และระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างกัน ตลอดจนปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังการบำบัดหรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในรูปที่ 4.5.1-4.5.3



รูปที่ 4.5.1 ค่าเฉลี่ยความขุ่นของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 10 เซนติเมตร



รูปที่ 4.5.2 ค่าเฉลี่ยความขุ่นของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 20 เซนติเมตร



รูปที่ 4.5.3 ค่าเฉลี่ยความขุ่นของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 30 เซนติเมตร

ผลการทดลองจากรูปที่ 4.5.1-4.5.3 พบว่าที่ระดับน้ำท่วมขังทั้ง 3 ระดับ มีแนวโน้มไปทางเดียวกัน กล่าวคือ

- การใช้สารกรองร่วมกับการปลูกพืช มีค่าเฉลี่ยความขุ่นของน้ำหลังการบำบัดลดลงมากกว่าการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช
- พืชต่างชนิดกัน มีค่าเฉลี่ยความขุ่นของน้ำหลังบำบัดแตกต่างกัน

และจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อทดสอบว่าชนิดของสารกรอง ระยะเวลาเก็บกักน้ำ และปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังการบำบัดหรือไม่ ได้ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.5.1

ตารางที่ 4.5.1 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้นของน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ จำแนกตามระยะเวลาเก็บกักน้ำ ชนิดของสารกรอง และระดับน้ำท่วมขัง

ปัจจัย	n	ระดับน้ำท่วมขัง (เซนติเมตร)								
		10			20			30		
		mean	S.D.	P	mean	S.D.	P	mean	S.D.	P
เวลากักน้ำ				<0.001			<0.001			<0.001
1	5	1.90	0.49		2.11	0.53		4.43	1.21	
4	5	0.91	0.54		1.01	0.65		2.25	1.33	
7	5	1.19	0.56		1.28	0.64		2.94	1.33	
ชนิดของสารกรอง				<0.001			<0.001			<0.001
สารกรอง+ธูปฤาษี	5	0.79	0.57		0.82	0.66		2.08	1.44	
สารกรอง+แผลก	5	1.40	0.53		1.56	0.56		3.35	1.38	
สารกรอง	5	1.81	0.49		2.02	0.52		4.48	1.22	
ผลกระทบรวมของเวลา และ ชนิดสารกรอง				0.455			0.238			0.418

จากตารางที่ 4.5.1 ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า

ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร

- มีช่วงระยะเวลาอย่างน้อย 2 ช่วงเวลา ที่มีค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้นของน้ำเสียหลังบำบัดต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบเชฟเฟ่ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 16x-18x พบว่า ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 4 วัน และ 7 วัน ให้ค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้นของน้ำเสียหลังบำบัดไม่แตกต่างกัน
- มีสารกรองอย่างน้อย 2 ชนิด ที่มีค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้นของน้ำเสียหลังบำบัดต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเชฟเฟ่ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 19x-21x พบว่า การใช้สารกรองรวมกับการปลูกพืชให้ค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้นของน้ำเสียหลังบำบัดแตกต่างจากการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช และชนิดพืชที่ต่างกันจะมีค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้นของน้ำหลังการบำบัดแตกต่างกัน

ปัจจัยด้านระยะเวลาเก็บกักน้ำ และชนิดของสารกรอง ไม่ได้ส่งผลร่วมกันต่อค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้นของน้ำเสียหลังบำบัด ที่ทุกระดับน้ำท่วมขัง

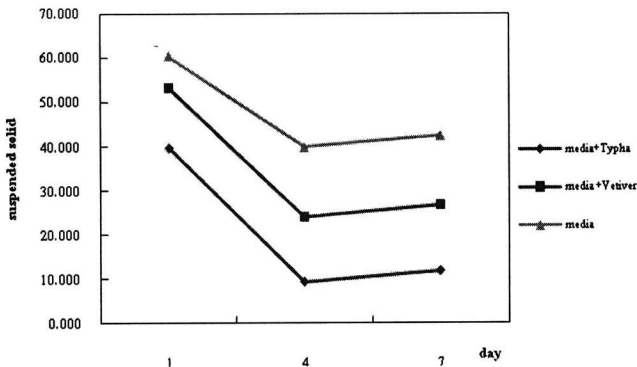
ผลการทดลองสรุปได้ว่า ระบบบึงประดิษฐ์ ช่วยลดค่าความชุ่มชื้นของน้ำได้ ที่ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร ระบบมีประสิทธิภาพในการลดค่าความชุ่มชื้นของน้ำสูงที่สุด และจากผลการทดสอบค่าสถิติ F-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า การลดค่าความชุ่มชื้นของน้ำที่ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร ปัจจัยด้านระยะเวลาเก็บกักน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ในการลดค่าความชุ่มชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยการใช้สารกรองรวมกับการปลูกต้น

ธูปฤาษี ที่ระยะเวลาเก็บน้ำ 4 วัน จะสามารถลดค่าความขุ่นของน้ำได้มากที่สุด โดยที่ระยะเวลานานขึ้น ค่าเฉลี่ยความขุ่นของน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test พบว่า ที่ระยะเวลาเก็บน้ำนานขึ้น จาก 4 วัน เป็น 7 วัน ค่าเฉลี่ยความขุ่นของน้ำไม่แตกต่างกัน

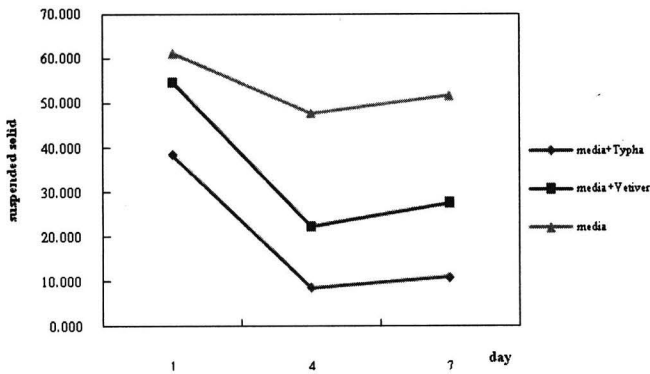
4.6 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ ที่บำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์

การทดลองนี้ศึกษาปัจจัยการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำ ที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ ในการบำบัดน้ำทั้งจากการพอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก โดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานเจริญชัยการย้อม ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 1 วัน 4 วัน และ 7 วัน ตัวกรองที่ใช้ในการทดลอง คือสารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี และต้นแฝก และการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช

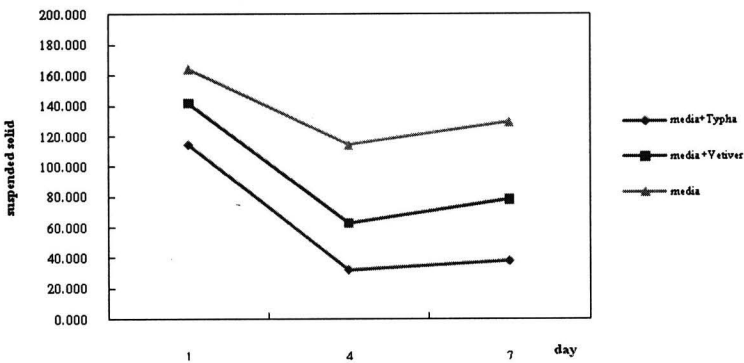
ปล่อยน้ำเสียเข้าสู่แปลงทดลองที่ปลูกธูปฤาษี แฝก และแปลงที่ไม่ปลูกพืช ทดลองที่ระดับน้ำท่วมขัง 10, 20 และ 30 เซนติเมตร วัดปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียก่อน และหลังการบำบัดทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ผลการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 14ก-16ก นำผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบว่าการใช้สารกรอง และระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างกัน ตลอดจนปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาเก็บกักน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยหลังการบำบัดหรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในรูปที่ 4.6.1-4.6.2



รูปที่ 4.6.1 ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยในน้ำที่บำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 10 เซนติเมตร



รูปที่ 4.6.2 ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยในน้ำที่บำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 20 เซนติเมตร



รูปที่ 4.6.3 ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยในน้ำที่บำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 30 เซนติเมตร

ผลการทดลองจากรูปที่ 4.6.1-4.6.3 พบว่าที่ระดับน้ำท่วมขังทั้ง 3 ระดับ มีแนวโน้มไปทางเดียวกัน กล่าวคือ

- การใช้สารกรองร่วมกับการปลูกพืช มีค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยในน้ำหลังการบำบัดลดลงมากกว่าการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช
- พืชต่างชนิดกัน มีค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยในน้ำหลังบำบัดแตกต่างกัน

และจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อทดสอบว่าชนิดของสารกรอง ระยะเวลาเก็บกักน้ำ และปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยหลังการบำบัดหรือไม่ ได้ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.6.1

ตารางที่ 4.6.1 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยของน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ จำแนกตามระยะเวลาเก็บกักน้ำ ชนิดของสารกรอง และระดับน้ำท่วมขัง

ปัจจัย	n	ระดับน้ำท่วมขัง (เซนติเมตร)								
		10			20			30		
		mean	S.D.	P	mean	S.D.	P	mean	S.D.	P
เวลากักน้ำ				<0.001			<0.001			<0.001
1	5	51.07	22.91		51.46	18.34		140.23	28.13	
4	5	24.39	16.90		26.20	19.13		69.79	36.69	
7	5	27.02	17.55		30.05	20.00		81.87	40.65	
ชนิดของสารกรอง				<0.001			<0.001			<0.001
สารกรอง+รูปลาซี	5	20.30	17.23		19.31	15.62		61.57	40.13	
สารกรอง+แฟก	5	34.63	20.61		34.87	18.44		94.32	37.66	
สารกรอง	5	47.55	21.49		53.54	16.91		136.01	28.62	
ผลกระทบรวมของเวลา และ ชนิดสารกรอง				0.948		0.387				0.042

จากตารางที่ 4.6.1 ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า

ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร

- มีช่วงระยะเวลาอย่างน้อย 2 ช่วงเวลา ที่มีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียหลังบำบัดต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 22ข-24ข พบว่า ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 4 วัน และ 7 วัน ให้ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยน้ำเสียหลังบำบัดไม่แตกต่างกัน
- มีสารกรองอย่างน้อย 2 ชนิด ที่มีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียหลังบำบัดต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 25ข-27ข พบว่า ที่ระดับน้ำท่วมขัง 20 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตรการใช้สารกรองร่วมกับการปลูกพืชให้ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียหลังบำบัดแตกต่างจากการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช และชนิดพืชที่ต่างกันจะมีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำหลังการบำบัดแตกต่างกัน ส่วนที่ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร พบว่า ชนิดพืชที่ต่างกันจะมีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำหลังการบำบัดไม่แตกต่างกัน

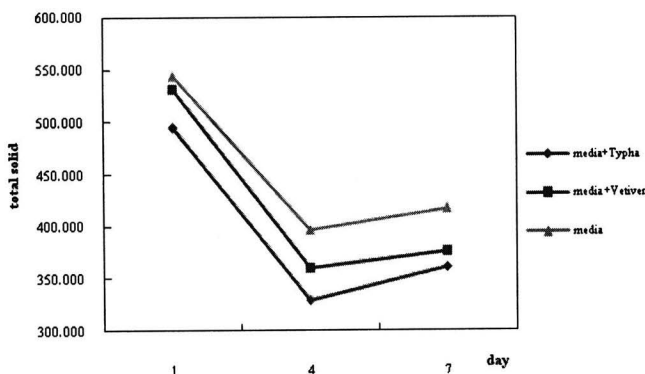
ปัจจัยด้านระยะเวลาเก็บกักน้ำ และชนิดของสารกรอง ไม่ได้ส่งผลร่วมกันต่อค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียหลังบำบัด ที่ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตร ส่วนที่ระดับน้ำท่วมขัง 30 เซนติเมตร ปัจจัยด้านระยะเวลาเก็บกักน้ำ และชนิดของสารกรอง ส่งผลร่วมกันต่อค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยน้ำเสียหลังบำบัด

ผลการทดลองสรุปได้ว่า ระบบบึงประดิษฐ์ ช่วยลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำได้ ที่ระดับน้ำท่วมขัง 20 เซนติเมตร ระบบมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสูงที่สุด และจากผลการทดสอบค่าสถิติ F-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ปัจจัยด้านระยะเวลาเก็บน้ำ และ ชนิดของสารกรอง มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยการใช้สารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 4 วัน จะสามารถลดค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำได้มากที่สุด โดยที่ระยะเวลานานขึ้น ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลการทดสอบด้วย ค่าสถิติ F-test พบว่า ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำนานขึ้น จาก 4 วัน เป็น 7 วัน ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำไม่แตกต่างกัน

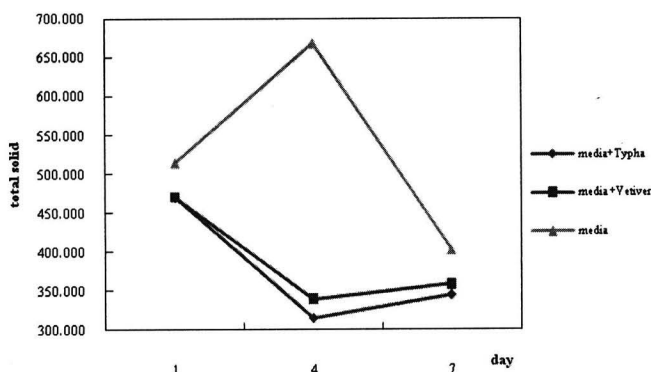
4.7 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำ ที่บำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์

การทดลองนี้ศึกษาปัจจัยการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำ ที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก โดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานเจริญชัยการย้อม ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน 4 วัน และ 7 วัน ตัวกรองที่ใช้ในการทดลอง คือสารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี และต้นแฝก และการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช

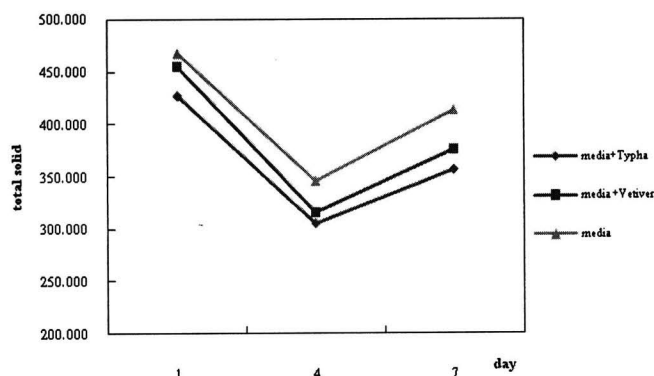
ปล่อยน้ำเสียเข้าสู่แปลงทดลองที่ปลูกธูปฤาษี แฝก และแปลงที่ไม่ปลูกพืช ทดลองที่ระดับน้ำท่วมขัง 10, 20 และ 30 เซนติเมตร วัดปริมาณของแข็งทั้งหมดน้ำเสียก่อน และหลังการบำบัด ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ผลการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 17ก-19ก นำผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบว่าการใช้สารกรอง และระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน ตลอดจนปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำหลังการบำบัดหรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในรูปที่ 4.7.1-4.7.3



รูปที่ 4.7.1 ค่าเฉลี่ยของแข็งทั้งหมดในน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 10 เซนติเมตร



รูปที่ 4.7.2 ค่าเฉลี่ยของแข็งทั้งหมดในน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 20 เซนติเมตร



รูปที่ 4.7.3 ค่าเฉลี่ยของแข็งทั้งหมดในน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 30 เซนติเมตร

ผลการทดลองจากรูปที่ 4.7.1-4.7.3 พบว่าที่ระดับน้ำท่วมขังทั้ง 3 ระดับ มีแนวโน้มไปทางเดียวกัน กล่าวคือ

- การใช้สารกรองร่วมกับการปลูกพืช มีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำหลังการบำบัดลดลงมากกว่าการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช
- พืชต่างชนิดกัน มีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำหลังบำบัดแตกต่างกัน

และจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อทดสอบว่าชนิดของสารกรอง ระยะเวลาเก็บกักน้ำ และปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมดหลังการบำบัดหรือไม่ ได้ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.7.1

ตารางที่ 4.7.1 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแข็งทั้งหมดในน้ำ หลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ จำแนกตามระยะเวลาเก็บกักน้ำ ชนิดของสารกรอง และระดับน้ำท่วมขัง

ปัจจัย	n	ระดับน้ำท่วมขัง (เซนติเมตร)									
		10			20			30			
		mean	S.D.	P	mean	S.D.	P	mean	S.D.	P	
เวลากักน้ำ											
1	5	523.33	91.87	<0.001	493.00	52.58	<0.001	450.07	40.45	<0.001	
4	5	362.00	67.21		440.80	191.96		322.07	31.13		
7	5	384.73	70.41		368.40	45.11		381.87	40.67		
ชนิดของสารกรอง				0.155				<0.001			0.003
สารกรอง+ธูปฤาษี	5	395.20	101.39		376.47	79.62		362.87	59.88		
สารกรอง+แผลก	5	422.47	108.91		397.53	82.94		382.20	66.96		
สารกรอง	5	452.40	101.79		528.20	149.46		408.93	61.91		
ผลกระทบร่วมของเวลา และ				0.993	<0.001			0.922			
ชนิดสารกรอง											

จากตารางที่ 4.7.1 ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า

ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร

- มีช่วงระยะเวลาอย่างน้อย 2 ช่วงเวลา ที่มีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียหลังบำบัดต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบเชฟเฟ่ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 28ข-30ข พบว่า
 - ที่ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตร ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 1 วัน และ 4 วัน ให้ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียหลังบำบัดแตกต่างกัน
 - ที่ระดับน้ำท่วมขัง 30 เซนติเมตร ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 1 วัน 4 วัน และ 7 วัน ให้ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียหลังบำบัดแตกต่างกัน
- มีสารกรองอย่างน้อย 2 ชนิด ที่มีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียหลังบำบัดต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเชฟเฟ่ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 31ข-33ข พบว่า การใช้สารกรองรวมกับการปลูกพืชให้ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียหลังบำบัดแตกต่างจากการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช และชนิดพืชที่ต่างกันจะมีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำหลังการบำบัดไม่แตกต่างกัน

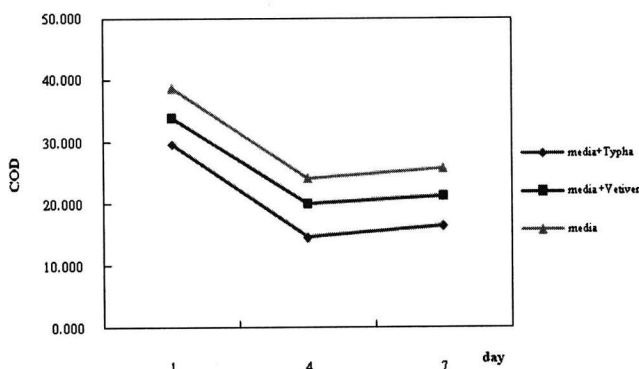
ปัจจัยด้านระยะเวลาเก็บกักน้ำ และชนิดของสารกรอง ไม่ได้ส่งผลร่วมกันต่อค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียหลังบำบัด ที่ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร ส่วนที่ระดับน้ำท่วมขัง 20 เซนติเมตร ปัจจัยด้านระยะเวลาเก็บกักน้ำ และชนิดของสารกรอง ส่งผลร่วมกันต่อค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียหลังบำบัด

ผลการทดลองสรุปได้ว่า ระบบบึงประดิษฐ์ ช่วยลดปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำได้ ที่ระดับน้ำท่วมขัง 30 เซนติเมตร ระบบมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำสูงที่สุด และจากผลการทดสอบค่าสถิติ F-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ชนิดของสารกรอง มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ในการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยการใช้สารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 4 วัน จะสามารถลดค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำได้มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test พบว่า ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำไม่แตกต่างกัน

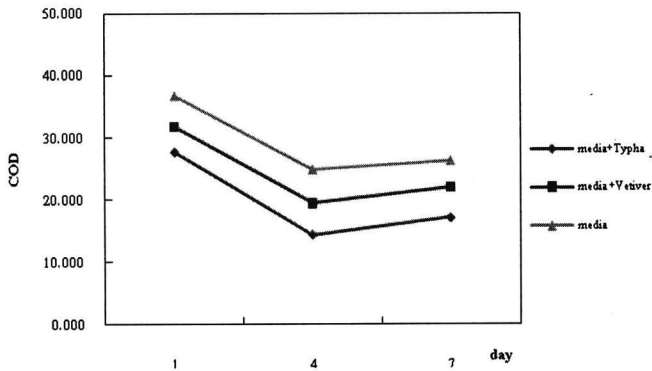
4.8 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าซีโอดีของน้ำ ที่บำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์

การทดลองนี้ศึกษาปัจจัยการลดค่าซีโอดีของน้ำ ที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ ในการบำบัดน้ำทั้งจากการพอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก โดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานเจริญชัยการย้อมระยะเวลาเก็บกักน้ำ 1 วัน 4 วัน และ 7 วัน ตัวกรองที่ใช้ในการทดลอง คือสารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี และต้นแฝก และการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช

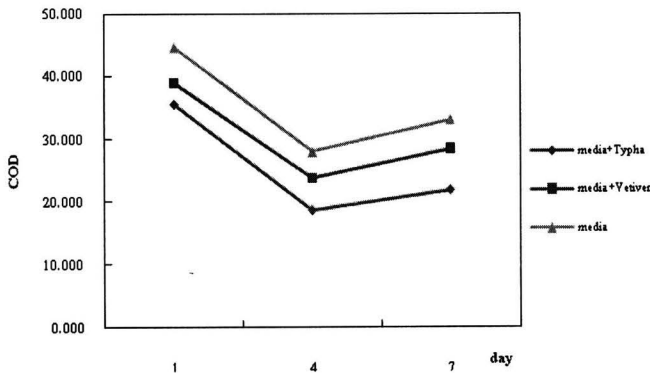
ปล่อยน้ำเสียเข้าสู่แปลงทดลองที่ปลูกธูปฤาษี แฝก และแปลงที่ไม่ปลูกพืช ทดลองที่ระดับน้ำท่วมขัง 10, 20 และ 30 เซนติเมตร วัดค่าซีโอดีของน้ำเสียก่อน และหลังการบำบัด ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ผลการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 20ก-22ก นำผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบว่าการใช้สารกรอง และระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างกัน ตลอดจนปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อค่าเฉลี่ยค่าซีโอดีหลังการบำบัดหรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในรูปที่ 4.8.1-4.8.2



รูปที่ 4.8.1 ค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 10 เซนติเมตร



รูปที่ 4.8.2 ค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 20 เซนติเมตร



รูปที่ 4.8.3 ค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 30 เซนติเมตร

ผลการทดลองจากรูปที่ 4.8.1-4.8.3 พบว่าที่ระดับน้ำท่วมขังทั้ง 3 ระดับ มีแนวโน้มไปทางเดียวกัน กล่าวคือ

- การใช้สารกรองร่วมกับการปลูกพืช มีค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำหลังการบำบัดลดลงมากกว่าการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช
- พืชต่างชนิดกัน มีค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำหลังบำบัดแตกต่างกัน

และจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อทดสอบว่าชนิดของสารกรอง ระยะเวลาเก็บกักน้ำ และปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาเก็บกักน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อค่าเฉลี่ยซีโอดีหลังการบำบัดหรือไม่ ได้ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.8.1

ตารางที่ 4.8.1 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ จำแนกตามระยะเวลาเก็บกักน้ำ ชนิดของสารกรอง และระดับน้ำท่วมขัง

ปัจจัย	n	ระดับน้ำท่วมขัง (เซนติเมตร)								
		10			20			30		
		mean	S.D.	P	mean	S.D.	P	mean	S.D.	P
เวลากักน้ำ				<0.001			<0.001			<0.001
1		34.08	5.96		32.05	6.29		39.67	9.50	
4		19.57	4.87		19.52	5.49		23.43	6.41	
7		21.15	4.77		21.77	5.17		27.77	7.77	
ชนิดของสารกรอง				<0.001			<0.001			<0.001
สารกรอง+ธูปฤาษี		20.24	7.56		19.69	6.84		25.30	9.52	
สารกรอง+แผลก		25.05	7.52		24.39	6.77		30.39	9.53	
สารกรอง		29.51	7.63		29.25	7.13		35.19	10.46	
ผลกระทบร่วมของเวลา และ ชนิดสารกรอง				0.998			0.994			0.990

จากตารางที่ 4.8.1 ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร

- มีช่วงระยะเวลาอย่างน้อย 2 ช่วงเวลา ที่มีค่าเฉลี่ยซีโอดีน้ำเสียหลังบำบัดต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบเชฟเฟ่ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 33ข-35ข พบว่า ระยะเวลากักน้ำ 4 วัน และ 7 วัน ให้ค่าเฉลี่ยซีโอดีน้ำเสียหลังบำบัดไม่แตกต่างกัน
- มีสารกรองอย่างน้อย 2 ชนิด ที่มีค่าเฉลี่ยซีโอดีน้ำเสียหลังบำบัดต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเชฟเฟ่ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 36ข-38ข พบว่า ที่ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตรการใช้สารกรองร่วมกับการปลูกพืชให้ค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำเสียหลังบำบัดแตกต่างจากการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช และชนิดพืชที่ต่างกันจะมีค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำหลังการบำบัดแตกต่างกัน ส่วนที่ระดับน้ำท่วมขัง 30 เซนติเมตร พบว่า ชนิดพืชที่ต่างกันจะมีค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำหลังการบำบัดไม่แตกต่างกัน

ปัจจัยด้านระยะเวลากักน้ำ และชนิดของสารกรอง ไม่ได้ส่งผลร่วมกันต่อค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำเสียหลังบำบัด ที่ระดับน้ำท่วมขัง

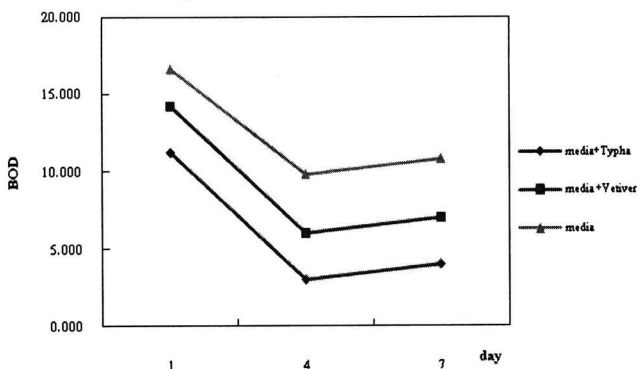
ผลการทดลองสรุปได้ว่า ระบบบึงประดิษฐ์ ช่วยลดค่าซีโอดีของน้ำได้ ที่ระดับน้ำท่วมขัง 20 เซนติเมตร ระบบมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของน้ำสูงที่สุด และจากผลการทดสอบค่าสถิติ F-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ชนิดของสารกรอง และระยะเวลาเก็บกักน้ำ มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ในการลดค่าซีโอดีน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยการใช้สารกรองร่วมกับการ

ปลูกต้นธูปฤาษี ที่ระยะเวลาเก็บกักเก็บน้ำ 4 วัน จะสามารถลดค่าซีโอดีในน้ำได้มากที่สุด โดยที่ระยะเวลานานขึ้น ค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test พบว่า ที่ระยะเวลาเก็บกักเก็บน้ำนานขึ้น จาก 4 วัน เป็น 7 วัน ค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำไม่แตกต่างกัน

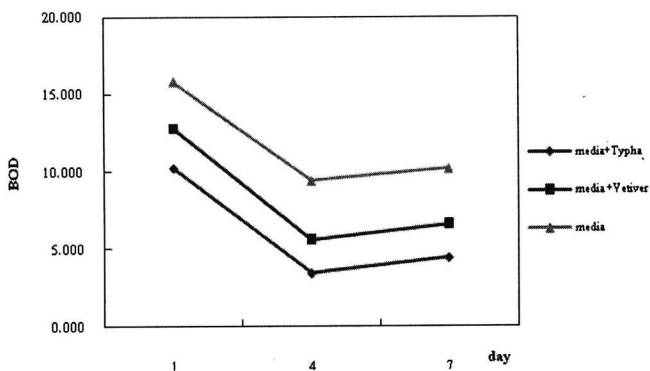
4.9 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าบีโอดีของน้ำ ที่บำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์

การทดลองนี้ศึกษาปัจจัยการลดค่าบีโอดีของน้ำ ที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก โดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานเจริญชัยการย้อมระยะเวลาเก็บกักน้ำ 1 วัน 4 วัน และ 7 วัน ตัวกรองที่ใช้ในการทดลอง คือสารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี และต้นแฝก และการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช

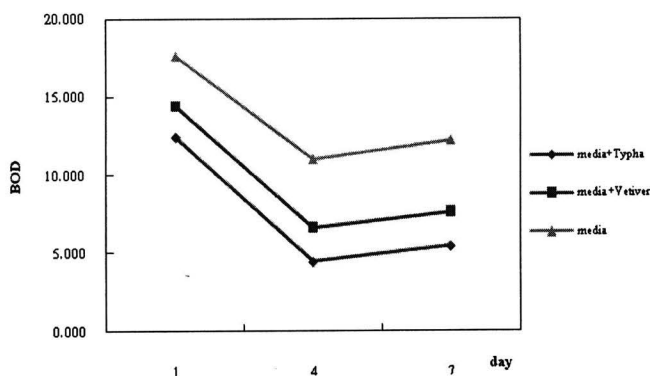
ปล่อยน้ำเสียเข้าสู่แปลงทดลองที่ปลูกธูปฤาษี แฝก และแปลงที่ไม่ปลูกพืช ทดลองที่ระดับน้ำท่วมขัง 10, 20 และ 30 เซนติเมตร วัดค่าบีโอดีของน้ำเสียก่อน และหลังการบำบัด ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ผลการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 23ก-25ก นำผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบว่าการใช้สารกรอง และระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างกัน ตลอดจนปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาเก็บกักน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อค่าเฉลี่ยค่าบีโอดีหลังการบำบัดหรือไม่ ได้ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.9.1



รูปที่ 4.9.1 ค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 10 เซนติเมตร



รูปที่ 4.9.2 ค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 20 เซนติเมตร



รูปที่ 4.9.3 ค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำขัง 30 เซนติเมตร

ผลการทดลองจากรูปที่ 4.9.1-4.9.3 พบว่าที่ระดับน้ำท่วมขังทั้ง 3 ระดับ มีแนวโน้มไปทางเดียวกัน กล่าวคือ

- การใช้สารกรองร่วมกับการการปลูกพืช มีค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำหลังการบำบัดลดลงมากกว่าการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช
- พืชต่างชนิดกัน มีค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำหลังบำบัดแตกต่างกัน

และจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อทดสอบว่าชนิดของสารกรอง ระยะเวลาเก็บกักน้ำ และปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำ และชนิดของสารกรอง มีผลต่อค่าเฉลี่ยบีโอดีหลังการบำบัดหรือไม่ ได้ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.9.1

ตารางที่ 4.9.1 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยบิโอติของน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ จำแนกตามระยะเวลาเก็บกักน้ำ ชนิดของสารกรอง และระดับน้ำท่วมขัง

ปัจจัย	n	ระดับน้ำท่วมขัง (เซนติเมตร)								
		10			20			30		
		mean	S.D.	P	mean	S.D.	P	mean	S.D.	P
เวลากักน้ำ				<0.001			<0.001			<0.001
1		14.00	3.00		12.93	3.83		14.80	3.75	
4		6.27	3.03		6.13	2.97		7.33	3.27	
7		7.27	3.03		7.07	2.96		8.40	3.36	
ชนิดของสารกรอง				<0.001			<0.001			<0.001
สารกรอง+รูปลา		6.07	3.95		6.00	3.44		7.40	4.07	
สารกรอง+แฟก		9.07	3.95		8.33	3.87		9.53	4.05	
สารกรอง		12.40	3.54		11.80	4.04		13.60	4.08	
ผลกระทบร่วมของเวลา และ ชนิดสารกรอง				0.736			0.997			0.936

จากตารางที่ 4.9.1 ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร

- มีช่วงระยะเวลากักน้ำอย่างน้อย 2 ช่วงเวลา ที่มีค่าเฉลี่ยบิโอติน้ำเสียหลังบำบัดต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 39ข-41ข พบว่า ระยะเวลากักน้ำ 4 วัน และ 7 วัน ให้ค่าเฉลี่ยบิโอติน้ำเสียหลังบำบัดไม่แตกต่างกัน
- มีสารกรองอย่างน้อย 2 ชนิด ที่มีค่าเฉลี่ยบิโอติน้ำเสียหลังบำบัดต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 42ข-44ข พบว่า ที่ระดับน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตรการใช้สารกรองรวมกับการปลูกพืชให้ค่าเฉลี่ยบิโอติของน้ำเสียหลังบำบัดแตกต่างจากการใช้สารกรองโดยไม่ปลูกพืช และชนิดพืชที่ต่างกันจะมีค่าเฉลี่ยบิโอติของน้ำหลังการบำบัดแตกต่างกัน ส่วนที่ระดับน้ำท่วมขัง 30 เซนติเมตร พบว่า ชนิดพืชที่ต่างกันจะมีค่าเฉลี่ยบิโอติของน้ำหลังการบำบัดไม่แตกต่างกัน

ปัจจัยด้านระยะเวลากักน้ำ และชนิดของสารกรอง ไม่ได้ส่งผลร่วมกันต่อค่าเฉลี่ยบิโอติของน้ำเสียหลังบำบัด ที่ระดับน้ำท่วมขัง

ผลการทดลองสรุปได้ว่า ระบบบึงประดิษฐ์ ช่วยลดค่าบิโอติของน้ำได้ ที่ระดับน้ำท่วมขัง 20 เซนติเมตร ระบบมีประสิทธิภาพในการลดค่าบิโอติของน้ำสูงที่สุด และจากผลการทดสอบค่าสถิติ F-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ชนิดของสารกรอง และระยะเวลาเก็บกักน้ำ มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ในการลดค่าบิโอติน้อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยการใช้สารกรองรวมกับการ

ปลูกต้นธูปฤาษี ที่ระยะเวลาปักเก็บน้ำ 4 วัน จะสามารถลดค่าบีโอดีในน้ำได้มากที่สุด โดยที่ระยะเวลานานขึ้น ค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test พบว่า ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำนานขึ้น จาก 4 วัน เป็น 7 วัน ค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำไม่แตกต่างกัน

4.10 ประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์

จากผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์ พบว่า การใช้สารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษีจะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณความสกปรกของน้ำในรูปต่างๆ ได้มากที่สุด ส่วนภาวะที่เหมาะสมด้านระดับน้ำท่วมขัง และระยะเวลาปักเก็บน้ำของแต่ละพารามิเตอร์จะแตกต่างกันไป สรุปได้ดังตารางที่ 4.10.1

ตารางที่ 4.10.1 ภาวะที่เหมาะสมในการลดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำที่บำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ โดยใช้สารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี

พารามิเตอร์	ระดับน้ำและระยะเวลาปักเก็บน้ำ								
	10 เซนติเมตร			20 เซนติเมตร			30 เซนติเมตร		
	1วัน	4วัน	7วัน	1วัน	4วัน	7วัน	1วัน	4วัน	7วัน
พีเอช	✓	✓	✓						
ความนำไฟฟ้า			✓						
ค่าการดูดกลืนแสง			✓						
ค่าความขุ่น		✓	✓						
ปริมาณของแข็งแขวนลอย					✓	✓			
ปริมาณของแข็งทั้งหมด								✓	✓
ซีโอดี					✓	✓			
บีโอดี					✓	✓			

ผลจากตารางที่ 4.10.1 พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการลดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำที่บำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์โดยใช้สารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี จะแตกต่างกันในแต่ละพารามิเตอร์ แต่เนื่องจากพารามิเตอร์ที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสีย คือค่าบีโอดี และค่าซีโอดี และภาวะที่เหมาะสมในการลดค่าบีโอดี และค่าซีโอดี ในน้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก ด้วยบึงประดิษฐ์ คือ การใช้สารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี ที่ระดับน้ำขัง 20 เซนติเมตร ระยะเวลาปักเก็บน้ำ 4 วัน

ดังนั้นในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ จึงใช้สารกรองร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี ที่ระดับน้ำขัง 20 เซนติเมตร ระยะเวลาปักเก็บน้ำ 4 วัน โดยวัดค่าพีเอช ค่าความนำไฟฟ้า ค่าการดูดกลืนแสง ค่าความขุ่น ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณของแข็งทั้งหมด ค่าซีโอดี ค่าบีโอดีของน้ำเสียก่อน และหลังการบำบัด ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ผลการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 2ก-4ก นำผลการวิเคราะห์ มาหาประสิทธิภาพของระบบ โดยคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วัดได้ก่อนและหลังการทดลอง ดังแสดงในสมการที่ 4.10.1

$$\% \text{ removal efficiency} = \frac{(C_0 - C_1)}{C_0} \times 100 \quad (4.10.1)$$

C_0 = ค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้ของน้ำเสียก่อนการบำบัด

C_1 = ค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้ของน้ำเสียหลังบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์

ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียก่อน และหลังการบำบัด เนื่องจากปริมาณความเข้มของสีในน้ำเสียแปรผันโดยตรงกับค่าการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงนำค่าการดูดกลืนแสงของน้ำ มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดสี ดังแสดงในสมการที่ 4.10.2

$$\% \text{ color removal} = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100 \quad (4.10.2)$$

A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียก่อนการบำบัด

A_1 = ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียหลังบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์

จากการคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ในการกำจัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียได้ผลแสดงในตารางที่ 4.10.2

ตารางที่ 4.10.2 ประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์

พารามิเตอร์	ก่อนบำบัด	หลังการบำบัด	ประสิทธิภาพ
พีเอช	7.44	7.12	4.30
ความนำไฟฟ้า (μS)	814.80	554.6	31.93
ค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{max} 525.5 nm)	0.1673	0.008	95.22
ค่าความขุ่น (NTU)	7.24	0.258	96.44
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (mg/L)	209.4	8.640	95.87
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/L)	616.7	315	48.92
ซีโอดี (mg/L)	73.79	14.37	80.53
บีโอดี (mg/L)	26.8	3.40	87.31

ผลจากตารางที่ 4.10.2 พบว่าระบบบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม ในทุกพารามิเตอร์

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

1. ระบบบึงประดิษฐ์เป็นระบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการอุตสาหกรรมฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิกได้ โดยประสิทธิภาพของระบบขึ้นกับ ชนิดพืช ระยะเวลาเก็บกักน้ำ และระดับน้ำท่วมขัง
2. การปลูกพืชในระบบบึงประดิษฐ์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ รวมทั้งชนิดพืชที่ปลูกก็มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ ในการบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก พบว่า ต้นธูปฤาษี มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าต้นแฝก
3. ภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก คือการใช้ตัวกลางหินกรวดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5-1.0 เซนติเมตร บรรจุหนา 5 เซนติเมตร ทราวยหยาบบรรจุหนา 20 เซนติเมตร และดินผสมทรายในอัตรา 3:1 บรรจุหนา 50 เซนติเมตร ปลูกต้นธูปฤาษี ที่ระดับน้ำท่วมขัง 20 เซนติเมตร ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 4 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดดี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ซีไอที และบีไอที ได้ร้อยละ 95.22, 96.22, 95.87, 48.72, 80.53 และ 87.31 ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาชนิดของพืชชุ่มน้ำ ที่สามารถปรับตัวให้ทนสภาพน้ำเสีย และสามารถกำจัดความสกปรกของน้ำได้
2. ศึกษาระยะเวลาการทำงานของระบบ ว่าระบบมีประสิทธิภาพในการลดค่าความสกปรกได้นานเท่าไร

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2546. เกณฑ์แนะนำการออกแบบระบบรวบรวมน้ำเสียและโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำของชุมชน.

เกษม จันทรแก้ว. 2551. หลักการ วิธีการ และการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโดยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม. เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรการบำบัดน้ำเสียโดยพื้นที่ชุ่มน้ำ ครั้งที่ 2 จัดโดย ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

ประนัตตา เจริญราช กิตติ เอกอำพล และ สุธา ภูสิทธิศักดิ์. 2549. ประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อมไหม. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการเทคโนโลยีและนวัตกรรม สำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 25-26 มกราคม 2549.

ชาลินี ศักดิ์แสน และศศิธร พุทธวงษ์. 2550. การบำบัดโครเมียมและอาร์เซนิกด้วยหญ้าแฝกและรูดฤาษีในบึงประดิษฐ์. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ ครั้งที่ 1 จัด โดย คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 31 สิงหาคม 2550

สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2542. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกย้อม, สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน.

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2550. www.oie.go.th.

APHA, AWWA, WPCF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. United Book Press, Inc., Maryland, USA.

Bastian,R.K., Shanaghan,P.E. and Thompson,B.P. 1989. Use of wetlands for municipal wastewater treatment and disposal-Regulatory issues and EPA polocies. In Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial, and Agricultural (ed. D.A. Hammer), Lewis Publishers,Chelsea,Michigan.

Cooper,P.F., Job,G.D., Green, M.B., and Shutes, R.B.E. 1996. Reed Beds and Construted Wetlands for Wastewater Treatment, WRc Swindon,Wiltshire.

Jianbo, L., Yue, W., Zhou, Q.,Zhou,X.,Yang, S., and Lin,T. 2007. Influence of Vegetation and Substrate on the Removal and Transformation of Dissolved Organic Matter in Horizontal Subsurface-Flow Constructed Wetlands. Bioresource Technology. 99, 4990-4996.

- Grit, M. A. and Knight, R.L. (1989). Operations optimization. In *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial, and Agricultural* (ed. D.A. Hammer), Lewis Publishers, Chelsea, Michigan.
- Kootatep, T. and Polprasert, C., (1995). Role of Plant Uptake on Nitrogen Removal in Constructed Wetlands Located in Tropics, *Wat. Sci. & Tech.*, Vol.36, No. 12, pp. 1-8.
- Reed,S.C., Crites,R.W., and Middlebrooks,E.J. 1995. *Natural Systems for Waste Management and Treatment*. Newyork:McGraw Hill,Inc.
- Sohsalam,P., and Sirianuntapiboon,S. 2007. Feasibility of Using Constructed Wetland Treatment for Molasses Wastewater Treatment. *Bioresource Technology*. 99(13),5610-5616.
- Steiner,G.R., and Freeman, R.J.Tr. 1989. Configuration and Substrate Design Considerations for Constructed Wetlands Treatment. In *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial, and Agricultural* (ed. D.A. Hammer). Michigan, Lewis Publishers.
- Stephen, E.M. 2005. Comparative Treatment of Dye-Rich Wastewater in Engineering Wetland system Vegetated with Different Plants. *Water research*.39(2-3),271-280.
- Tijasa, G. B., Alenka, O. 2007. The Use of Constructed Wetland for Dye-Rich Textile Wastewater Treatment. *Hazardous Materials*, 155(1-2),76-82.
- United States Environment Protection Agency(U.S. EPA). 1995. *Process Design Manual Surface Disposal of Sewage Sludge and Domestic Septage*, Washington DC.
- U.S. EPA.,1988. *Design Manual-Constructed Wetlands and Aquatic Plants Systems for Municipal Wastewater Treatment*. EPA/625/1-88/022, United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- U.S. EPA.,1999. *Manual: Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewater*. EPA 625/R- 99/010. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Vymazal,J. 2002. The Use of Subsurface Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in the Czech Republic: 10 Years Experience. *Ecol Eng*. 18,633-646.

ภาคผนวก ก

ตารางที่ 1ก ลักษณะของน้ำทิ้งจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิก

ครั้งที่ ทดลอง	pH	Conductivity (μ S)	Turbidity (NTU)	Absorbance	SS (mg/l)	DS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)
1	7.28	713	5.04	0.15	168	710	75.862	30
2	6.97	750	3.88	0.12	77	850	90.756	33
3	7.45	753	4.93	0.159	110	608	60.332	25
4	7.33	762	6.86	0.138	230	538	75.214	28
5	7.5	760	4.75	0.158	97	600	68.468	23
6	7.28	713	5.04	0.15	168	710	75.862	30
7	6.97	750	3.88	0.12	77	850	90.756	33
8	7.45	753	4.93	0.159	110	608	60.332	25
9	7.33	762	6.86	0.138	230	538	75.214	28
10	7.5	760	4.75	0.158	97	600	68.468	23
11	7.28	713	5.04	0.15	168	710	75.862	30
12	6.97	750	3.88	0.12	77	850	90.756	33
13	7.45	753	4.93	0.159	110	608	60.332	25
14	7.33	762	6.86	0.138	230	538	75.214	28
15	7.5	760	4.75	0.158	97	600	68.468	23
16	7.59	820	5.93	0.126	174	534	70.114	31
17	7.46	883	3.58	0.233	68	620	49.423	30
18	7.54	880	5.97	0.138	180	600	70.352	18
19	7.5	855	6.01	0.192	184	684	64.352	20
20	7.6	807	6.23	0.226	190	712	80.402	29
21	7.59	820	5.93	0.126	174	534	70.114	31
22	7.46	883	3.58	0.233	68	620	49.423	30
23	7.54	880	5.97	0.138	180	600	70.352	18
24	7.5	855	6.01	0.192	184	684	64.352	20

ตารางที่ 1ก ลักษณะของน้ำทิ้งจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิก (ต่อ)

ครั้งที่ ทดลอง	pH	Conductivity (μ S)	Turbidity (NTU)	Absorbance	SS (mg/l)	DS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)
25	7.6	807	6.23	0.226	190	712	80.402	29
26	7.59	820	5.93	0.126	174	534	70.114	31
27	7.46	883	3.58	0.233	68	620	49.423	30
28	7.54	880	5.97	0.138	180	600	70.352	18
29	7.5	855	6.01	0.192	184	684	64.352	20
30	7.6	807	6.23	0.226	190	712	80.402	29
31	7.36	823	7.33	0.18	256	620	58.537	24
32	7.62	845	10.2	0.145	311	556	81.818	21
33	7.54	849	11.2	0.152	354	492	63.636	37
34	7.24	853	12.2	0.177	362	534	99.548	24
35	7.57	869	14.3	0.215	380	592	97.996	29
36	7.36	823	7.33	0.18	256	620	58.537	24
37	7.62	845	10.2	0.145	311	556	81.818	21
38	7.54	849	11.2	0.152	354	492	63.636	37
39	7.24	853	12.2	0.177	362	534	99.548	24
40	7.57	869	14.3	0.215	380	592	97.996	29
41	7.36	823	7.33	0.18	256	620	58.537	24
42	7.62	845	10.2	0.145	311	556	81.818	21
43	7.54	849	11.2	0.152	354	492	63.636	37
44	7.24	853	12.2	0.177	362	534	99.548	24
45	7.57	869	14.3	0.215	380	592	97.996	29

ตารางที่ 2 ก ค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+รูปถ่าย	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	7.28	7.20	7.26	7.25
1	6.97	6.86	6.93	6.90
1	7.45	7.40	7.42	7.38
1	7.33	7.25	7.30	7.30
1	7.50	7.40	7.30	7.35
4	7.28	7.13	7.22	7.23
4	6.97	6.80	6.89	6.85
4	7.45	7.28	7.30	7.33
4	7.33	7.20	7.25	7.29
4	7.50	7.22	7.25	7.25
7	7.28	7.10	7.15	7.20
7	6.97	6.77	6.80	6.80
7	7.45	7.14	7.25	7.20
7	7.33	7.15	7.20	7.25
7	7.50	7.10	7.20	7.25

ตารางที่ 3 ก ค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+รูป	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	7.59	7.42	7.45	7.48
1	7.46	7.30	7.34	7.39
1	7.54	7.40	7.44	7.49
1	7.50	7.37	7.40	7.42
1	7.60	7.40	7.45	7.50
4	7.59	7.12	7.30	7.36
4	7.46	7.15	7.20	7.25
4	7.54	7.01	7.25	7.33
4	7.50	7.10	7.20	7.30
4	7.60	7.20	7.25	7.35
7	7.59	7.15	7.20	7.25
7	7.46	7.10	7.15	7.20
7	7.54	7.00	7.16	7.20
7	7.50	7.05	7.10	7.20
7	7.60	7.10	7.18	7.22

ตารางที่ 4 ก ค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+รูป	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	7.36	7.25	7.3	6.86
1	7.62	7.42	7.55	7.56
1	7.54	7.40	7.49	7.55
1	7.24	6.95	7.1	7.18
1	7.57	7.30	7.35	7.39
4	7.36	7.1	7.25	6.8
4	7.62	7.25	7.35	7.4
4	7.54	7.20	7.3	7.3
4	7.24	6.85	7.1	7.15
4	7.57	7.15	7.2	7.27
7	7.36	7.05	7.18	6.8
7	7.62	7.1	7.25	7.29
7	7.54	7.10	7.24	7.29
7	7.24	6.8	7	7.1
7	7.57	7.05	7.16	7.25

ตารางที่ 5 ก ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+ธูปฤาษี	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	713	539	581	570
1	750	567	603	588
1	753	590	605	601
1	762	601	624	608
1	760	597	620	610
4	713	470	487	529
4	750	498	504	560
4	753	500	520	562
4	762	502	532	560
4	760	508	537	564
7	713	430	454	485
7	750	448	473	524
7	753	450	479	516
7	762	450	488	529
7	760	460	495	538

ตารางที่ 6 ก ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+ธูปฤาษี	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	820	610	648	657
1	883	658	695	709
1	880	653	695	705
1	855	645	690	700
1	807	595	630	648
4	820	540	570	603
4	883	580	605	655
4	880	573	603	653
4	855	550	590	639
4	807	530	570	590
7	820	500	530	560
7	883	520	560	605
7	880	522	570	607
7	855	510	550	590
7	807	490	530	564

ตารางที่ 7 ก ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+ธูปฤาษี	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	823	626	675	698
1	845	634	690	710
1	849	649	699	715
1	853	650	690	720
1	869	667	701	732
4	823	544	595	620
4	845	553	613	645
4	849	560	605	648
4	853	559	620	658
4	869	560	629	665
7	823	515	548	617
7	845	528	564	632
7	849	538	567	625
7	853	548	570	622
7	869	548	574	640

ตารางที่ 8 ก ค่าดูดกลืนแสงของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+ธูปฤาษี	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	0.1500	0.0150	0.0220	0.0300
1	0.1200	0.0130	0.0140	0.0220
1	0.1590	0.0160	0.0220	0.0300
1	0.1380	0.0150	0.0170	0.0270
1	0.1580	0.0160	0.0200	0.0290
4	0.1500	0.0050	0.0150	0.0230
4	0.1200	0.0040	0.0120	0.0180
4	0.1590	0.0070	0.0130	0.0250
4	0.1380	0.0060	0.0140	0.0200
4	0.1580	0.0070	0.0150	0.0240
7	0.1500	0.0030	0.0100	0.0140
7	0.1200	0.0030	0.0080	0.0100
7	0.1590	0.0020	0.0100	0.0180
7	0.1380	0.0040	0.0080	0.0150
7	0.1580	0.0040	0.0080	0.0140

ตารางที่ 9 ก ค่าดูดกลืนแสงของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+ธูปฤาษี	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	0.1260	0.0090	0.0160	0.0260
1	0.2330	0.0250	0.0300	0.0430
1	0.1380	0.0130	0.0190	0.0270
1	0.1920	0.0180	0.0230	0.0330
1	0.2260	0.0240	0.0300	0.0420
4	0.1260	0.0065	0.0120	0.0190
4	0.2330	0.0130	0.0220	0.0330
4	0.1380	0.0070	0.0143	0.0190
4	0.1920	0.0080	0.0175	0.0300
4	0.2260	0.0070	0.0220	0.0320
7	0.1260	0.0035	0.0070	0.0110
7	0.2330	0.0053	0.0160	0.0230
7	0.1380	0.0037	0.0090	0.0150
7	0.1920	0.0038	0.0115	0.0200
7	0.2260	0.0057	0.0120	0.0240

ตารางที่ 10 ก ค่าดูดกลืนแสงของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+รูปถ่าย	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	0.180	0.015	0.022	0.035
1	0.145	0.012	0.019	0.029
1	0.152	0.014	0.021	0.030
1	0.177	0.018	0.024	0.032
1	0.215	0.018	0.027	0.042
4	0.180	0.010	0.018	0.027
4	0.145	0.008	0.014	0.020
4	0.152	0.009	0.015	0.024
4	0.177	0.009	0.019	0.028
4	0.215	0.008	0.020	0.034
7	0.180	0.005	0.012	0.017
7	0.145	0.004	0.007	0.015
7	0.152	0.003	0.010	0.016
7	0.177	0.004	0.012	0.018
7	0.215	0.004	0.012	0.020

ตารางที่ 11 ก ค่าความชื้นของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+ธูปฤาษี	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	5.04	1.46	1.87	2.26
1	3.88	1.13	1.56	1.68
1	4.93	1.48	1.89	2.13
1	6.86	1.99	2.67	3.00
1	4.75	1.50	1.90	2.05
4	5.04	0.34	0.95	1.43
4	3.88	0.25	0.79	1.14
4	4.93	0.25	0.89	1.42
4	6.86	0.31	1.30	1.95
4	4.75	0.28	0.95	1.42
7	5.04	0.49	1.24	1.74
7	3.88	0.48	0.90	1.30
7	4.93	0.60	1.20	1.68
7	6.86	0.75	1.68	2.34
7	4.75	0.56	1.17	1.65

ตารางที่ 12 ก ค่าความชุ่มของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+ธูปฤาษี	น้ำเสีย+แผลก	น้ำเสีย+ดิน
1	5.93	1.68	2.32	2.60
1	3.58	1.11	1.37	1.59
1	5.97	1.83	2.34	2.65
1	6.01	1.87	2.45	2.70
1	6.23	1.90	2.40	2.84
4	5.93	0.28	1.16	1.80
4	3.58	0.19	0.78	1.03
4	5.97	0.24	1.23	1.85
4	6.01	0.27	1.13	1.79
4	6.23	0.31	1.20	1.95
7	5.93	0.51	1.44	2.00
7	3.58	0.35	0.93	1.26
7	5.97	0.52	1.47	2.10
7	6.01	0.65	1.54	2.13
7	6.23	0.64	1.60	2.07

ตารางที่ 13 ก ค่าความชื้นของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+ธูปฤาษี	น้ำเสีย+แปก	น้ำเสีย+ดิน
1	7.33	2.56	3.20	3.65
1	10.20	3.54	4.43	5.00
1	11.20	4.02	5.15	5.64
1	12.20	4.34	5.42	5.95
1	14.30	4.87	6.15	6.98
4	7.33	0.51	1.57	2.50
4	10.20	0.78	2.14	3.49
4	11.20	0.83	2.23	3.77
4	12.20	0.90	2.31	4.09
4	14.30	1.11	2.64	4.82
7	7.33	1.12	1.97	2.84
7	10.20	1.40	2.84	3.90
7	11.20	1.53	2.94	4.21
7	12.20	1.67	3.32	4.73
7	14.30	2.07	3.87	5.62

ตารางที่ 14 ก ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+รูปถ่าย	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	168	49.5	65.4	74.3
1	77	23.7	30.5	35.4
1	110	31.8	42.3	49.8
1	230	64.9	89.6	99.2
1	97	28.6	38.2	42.8
4	168	12.4	30.5	48.3
4	77	5.6	12.6	23.8
4	110	7.6	19.5	32.3
4	230	13.7	39.5	65.5
4	97	7.6	17.6	29.4
7	168	15.5	32.1	53.4
7	77	6.8	15.5	24.6
7	110	9.1	22.1	34.3
7	230	18.5	44.3	68.9
7	97	9.2	19.8	31.2

ตารางที่ 15 ก ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+ธูปฤาษี	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	174	42.5	60.3	67.4
1	68	16.4	23.6	26.9
1	180	44.6	62.3	69.5
1	184	44.3	63	70.2
1	190	44	64.5	72.4
4	174	8.7	25.5	51.6
4	68	3.7	9.3	20.4
4	180	9.7	24.5	55.5
4	184	10.3	24.5	56.5
4	190	10.8	27.5	54.5
7	174	9.5	30.2	56.1
7	68	5.9	12.5	22.5
7	180	12.5	31.4	58
7	184	13.2	31.4	59.3
7	190	13.5	32.5	62.3

ตารางที่ 16 ก ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+รูปถ่าย	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	256	87.4	109.5	130
1	311	109.5	135.5	155.6
1	354	118.9	151.3	175
1	362	120.6	155.2	175
1	380	136	158	186
4	256	25.5	50	87
4	311	30.8	62.4	108
4	354	32.7	64.5	117.5
4	362	34	66.2	125.5
4	380	37.8	71.5	133.5
7	256	29.9	62.3	98.5
7	311	36.3	73.4	120.5
7	354	40	82.5	138
7	362	41.6	86.5	140
7	380	42.5	86	150

ตารางที่ 17 ก ค่าของแข็งละลายของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+ธูปฤาษี	น้ำเสีย+แผลก	น้ำเสีย+ดิน
1	710	526	575	583
1	850	637	684	695
1	608	458	491	501
1	538	403	426	445
1	600	452	480	494
4	710	353	390	421
4	850	427	460	503
4	608	304	332	365
4	538	270	288	328
4	600	292	332	365
7	710	386	405	455
7	850	465	480	535
7	608	335	348	378
7	538	293	307	338
7	600	327	339	380

ตารางที่ 18 ก ค่าของแข็งละลายของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+รูปถ่าย	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	534	398	425	437
1	620	468	487	504
1	600	452	470	493
1	684	507	534	557
1	712	523	560	580
4	534	265	289	578
4	620	315	330	410
4	600	290	320	784
4	684	345	378	784
4	712	360	380	784
7	534	294	305	345
7	620	340	350	398
7	600	328	340	385
7	684	370	390	427
7	712	392	405	457

ตารางที่ 19 ก ค่าของแข็งละลายของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+รูปถ่าย	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	620	476	503	523
1	556	425	453	462
1	492	378	402	415
1	534	408	437	448
1	592	449	480	492
4	620	336	349	380
4	556	307	317	350
4	492	269	278	304
4	534	292	303	329
4	592	321	332	364
7	620	398	417	460
7	556	355	378	417
7	492	314	326	365
7	534	339	359	390
7	592	376	399	435

ตารางที่ 20 ก ค่าซีไอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+ธูปฤาษี	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	75.862	29.345	35.138	39.529
1	90.756	36.975	41.723	45.529
1	60.332	24.232	27.232	32.299
1	75.214	30.432	34.225	39.432
1	68.468	27.432	31.225	36.432
4	75.862	15.266	20.266	24.848
4	90.756	17.188	25.279	28.489
4	60.332	12.454	15.513	20.094
4	75.214	14.468	20.432	24.640
4	68.468	13.468	18.432	22.640
7	75.862	16.353	22.017	26.353
7	90.756	19.807	25.445	31.084
7	60.332	13.748	17.795	21.496
7	75.214	16.679	21.497	25.907
7	68.468	15.679	19.497	23.907

ตารางที่ 21 ก ค่าซีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+รูปถ่าย	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	70.114	29.046	33.046	39.080
1	49.423	19.898	23.783	27.308
1	70.352	29.101	34.050	39.050
1	64.352	27.101	30.050	35.050
1	80.402	33.101	38.050	43.050
4	70.114	14.257	20.096	25.483
4	49.423	10.426	14.056	18.111
4	70.352	15.050	20.251	26.151
4	64.352	14.050	19.251	24.151
4	80.402	18.050	23.251	30.151
7	70.114	17.251	23.778	28.167
7	49.423	12.685	16.056	19.797
7	70.352	18.151	23.050	27.050
7	64.352	16.151	21.050	25.050
7	80.402	21.151	26.050	31.050

ตารางที่ 22 ก ค่าซีไอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+รูปถ่าย	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	58.537	26.293	28.537	32.756
1	81.818	35.818	39.545	45.182
1	63.636	28.273	30.455	35.182
1	99.548	44.199	47.149	55.299
1	97.996	43.199	48.932	54.299
4	58.537	14.106	17.149	20.532
4	81.818	18.455	23.909	27.909
4	63.636	14.273	19.455	23.182
4	99.548	22.936	28.713	34.586
4	97.996	22.936	29.713	33.586
7	58.537	16.000	20.000	25.000
7	81.818	21.636	29.273	33.545
7	63.636	17.532	22.532	26.085
7	99.548	26.904	35.269	40.356
7	97.996	26.904	35.269	40.356

ตารางที่ 23 ก ค่าบีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+ธูปฤาษี	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	30	12	15	18
1	33	14	17	20
1	25	10	13	15
1	28	11	14	16
1	23	9	12	14
4	30	3	6	10
4	33	4	7	12
4	25	3	6	9
4	28	3	6	10
4	23	2	5	8
7	30	4	7	11
7	33	5	8	13
7	25	4	7	10
7	28	4	7	11
7	23	3	6	9

ตารางที่ 24 ก ค่าบีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+รูปถ่าย	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	31	12	15	19
1	30	12	16	19
1	18	7	9	11
1	20	8	10	12
1	29	12	14	18
4	31	4	7	11
4	30	4	7	11
4	18	2	4	7
4	20	3	4	7
4	29	4	6	11
7	31	5	8	12
7	30	5	8	12
7	18	3	5	7
7	20	4	5	8
7	29	5	7	12

ตารางที่ 25 ก ค่าบีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร

เวลา	น้ำเสียเริ่มต้น	น้ำเสีย+รูปถ่าย	น้ำเสีย+แฟก	น้ำเสีย+ดิน
1	24	11	13	15
1	21	10	12	14
1	37	17	19	24
1	24	11	13	16
1	29	13	15	19
4	24	4	6	10
4	21	3	5	9
4	37	6	9	15
4	24	4	6	10
4	29	5	7	11
7	24	5	7	11
7	21	4	6	10
7	37	7	10	16
7	24	5	7	11
7	29	6	8	13

ภาคผนวก ข

ตารางที่ 1ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยพีเอชรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาเก็บน้ำต่างกัน

	7 วัน (7.15)	4 วัน (7.22)	1 วัน (7.42)
7 วัน (7.15)		0.0740*	0.2660*
4 วัน (7.22)			0.1920*
1 วัน (7.42)			

ตารางที่ 2ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยพีเอชรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาเก็บน้ำต่างกัน

	7 วัน (7.11)	4 วัน (7.18)	1 วัน (7.31)
7 วัน (7.11)		0.0673	0.1993*
4 วัน (7.18)			0.1320
1 วัน (7.31)			

ตารางที่ 3ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยพีเอชรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+ธูปฤาษี (7.19)	สารกรอง+แผลก(7.27)	สารกรอง(7.33)
สารกรอง+ธูปฤาษี(7.19)		0.0800*	0.1380*
สารกรอง+แผลก(7.27)			0.0580*
สารกรอง(7.33)			

ตารางที่ 4ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้ารายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาเก็บน้ำต่างกัน

	7 วัน (481.27)	4 วัน (522.20)	1 วัน (593.60)
7 วัน (481.27)		40.9333*	112.3333*
4 วัน (522.20)			71.4000*
1 วัน (593.60)			

ตารางที่ 5ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้ารายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน

	7 วัน (547.20)	4 วัน (590.07)	1 วัน (662.53)
7 วัน (547.20)		42.8667*	115.3333*
4 วัน (590.07)			72.4667*
1 วัน (662.53)			

ตารางที่ 6ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้ารายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน

	7(575.73)	4(604.93)	1(683.73)
7(575.73)		29.2000*	108.0000*
4(604.93)			78.8000*
1(683.73)			

ตารางที่ 7ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้ารายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+รูปลาชี่ (301.07)	สารกรอง+แฟก (322.93)	สารกรอง (330.53)
สารกรอง+รูปลาชี่ (301.07)		26.1333*	48.9333*
สารกรอง+แฟก (322.93)			22.8000*
สารกรอง (330.53)			

ตารางที่ 8ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้ารายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+ธูปฤาษี (565.07)	สารกรอง+แผลก (602.40)	สารกรอง (632.33)
สารกรอง+ธูปฤาษี (565.07)		37.3333*	67.2667*
สารกรอง+แผลก (602.40)			29.9333*
สารกรอง (632.33)			

ตารางที่ 9ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้ารายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+ธูปฤาษี (578.60)	สารกรอง+แผลก (622.67)	สารกรอง (663.13)
สารกรอง+ธูปฤาษี (578.60)		44.0667*	84.5333*
สารกรอง+แผลก (622.67)			40.4667*
สารกรอง (663.13)			

ตารางที่ 10ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำต่างกัน

	7 วัน (0.0087)	4 วัน (0.0139)	1 วัน (0.0205)
7 วัน (0.0087)		0.0051*	0.0118*
4 วัน (0.0139)			0.0067*
1 วัน (0.0205)			

ตารางที่ 11ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน

	7 วัน (0.0114)	4 วัน (0.0175)	1 วัน (0.0252)
7 วัน (0.0114)		0.0061	0.0138*
4 วัน (0.0175)			0.0077*
1 วัน (0.0252)			

ตารางที่ 12ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน

	7 วัน (0.0106)	4 วัน (0.0175)	1 วัน (0.0239)
7 วัน (0.0106)		0.0069*	0.0133*
4 วัน (0.0175)			0.0063*
1 วัน (0.0239)			

ตารางที่ 13ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+รูปถาชี (0.0080)	สารกรอง+แผลก (0.0139)	สารกรอง (0.0213)
สารกรอง+รูปถาชี (0.0080)		0.0059*	0.0133*
สารกรอง+แผลก (0.0139)			0.0074*
สารกรอง (0.0213)			

ตารางที่ 14 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+ธูปฤาษี (0.0102)	สารกรอง+แผลก (0.0174)	สารกรอง(0.0265)
สารกรอง+ธูปฤาษี (0.0102)		0.0073*	0.0163*
สารกรอง+แผลก (0.0174)			0.0090*
สารกรอง (0.0265)			

ตารางที่ 15 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+ธูปฤาษี (0.0094)	สารกรอง+แผลก (0.0168)	สารกรอง(0.0258)
สารกรอง+ธูปฤาษี (0.0094)		0.0074*	0.0090*
สารกรอง+แผลก (0.0168)			0.0164*
สารกรอง (0.0258)			

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำต่างกัน

	7 วัน (1.185)	4 วัน (0.9113)	1 วัน (1.9047)
7 วัน (1.185)		0.2740	0.7193*
4 วัน (0.9113)			0.9933*
1 วัน (1.9047)			

ตารางที่ 17ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความชุ่มรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาเก็บน้ำต่างกัน

	4 วัน (1.0140)	7 วัน (1.2807)	1 วัน (1.2110)
4 วัน (1.0140)		0.2667	1.0960*
7 วัน (1.2807)			0.8293*
1 วัน (1.2110)			

ตารางที่ 18ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความชุ่มรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาเก็บน้ำต่างกัน

	4 วัน (2.2460)	7 วัน (2.9353)	1 วัน (4.7267)
4 วัน (2.2460)		0.6893	2.4807*
7 วัน (2.9353)			1.7913*
1 วัน (4.7267)			

ตารางที่ 19ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความชุ่มรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+ธูปฤาษี (0.7913)	สารกรอง+แผลก (1.3973)	สารกรอง(1.8127)
สารกรอง+ธูปฤาษี (0.7913)		0.6060*	1.0213*
สารกรอง+แผลก (1.3973)			0.4153*
สารกรอง (1.8127)			

ตารางที่ 20ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความชุ่มรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+ธูปฤาษี (0.8233)	สารกรอง+แผลก (1.5573)	สารกรอง (2.0240)
สารกรอง+ธูปฤาษี (0.8233)		0.7340*	1.2007*
สารกรอง+แผลก (1.5573)			0.4667*
สารกรอง (2.0240)			

ตารางที่ 21ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความชุ่มรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+ธูปฤาษี (2.0833)	สารกรอง+แผลก (3.3453)	สารกรอง(4.4793)
สารกรอง+ธูปฤาษี (2.0833)		1.2620*	2.3960*
สารกรอง+แผลก (3.3453)			1.1340*
สารกรอง (4.4793)			

ตารางที่ 22ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาเก็บน้ำต่างกัน

	4 วัน (24.3933)	7 วัน (27.0200)	1 วัน (51.0667)
4 วัน (24.3933)		2.6267	26.6733*
7 วัน (27.0200)			24.0467*
1 วัน (51.0667)			

ตารางที่ 23ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ ที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน

	4 วัน (26.2000)	7 วัน (30.0533)	1 วัน (51.4600)
4 วัน (26.2000)		3.8533	25.2600*
7 วัน (30.0533)			21.4067*
1 วัน (51.4600)			

ตารางที่ 24ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน

	4 วัน (69.7933)	7 วัน (81.8667)	1 วัน (140.2333)
4 วัน (69.7933)		12.0733	70.4000*
7 วัน (81.8667)			58.3667*
1 วัน (140.2333)			

ตารางที่ 25ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+ธูปฤาษี (20.3000)	สารกรอง+แผลก (34.6333)	สารกรอง (47.5467)
สารกรอง+ธูปฤาษี (20.3000)		14.3333	27.2467*
สารกรอง+แผลก (34.6333)			12.9133
สารกรอง (47.5467)			

ตารางที่ 26ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+รฐภาชี (19.3067)	สารกรอง+แฝก (34.8667)	สารกรอง (53.5400)
สารกรอง+รฐภาชี (19.3067)		15.5600*	34.2333*
สารกรอง+แฝก (34.8667)			18.6733*
สารกรอง (53.5400)			

ตารางที่ 27ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+รฐภาชี (61.5667)	สารกรอง+แฝก (94.3200)	สารกรอง (136.0067)
สารกรอง+รฐภาชี (61.5667)		32.7533*	74.4400*
สารกรอง+แฝก (94.3200)			41.6867*
สารกรอง (136.0067)			

ตารางที่ 28ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของแข็งละลายรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาเก็บน้ำต่างกัน

	4 วัน (362.00)	7 วัน (384.73)	1 วัน (523.33)
4 วัน (362.00)		22.7333	161.3333*
7 วัน (384.73)			138.6000*
1 วัน (523.33)			

ตารางที่ 29ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของแข็งละลายรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน

	7 วัน (368.40)	4 วัน (440.80)	1 วัน (493.00)
7 วัน (368.40)		72.4000*	124.6000*
4 วัน (440.80)			52.2000
1 วัน (493.00)			

ตารางที่ 30ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของแข็งละลายรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน

	4 วัน (322.07)	7 วัน (381.87)	1 วัน (450.07)
4 วัน (322.07)		59.8000*	128.0000*
7 วัน (381.87)			68.2000*
1 วัน (450.07)			

ตารางที่ 31ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของแข็งละลายรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+ธูปฤาษี (376.47)	สารกรอง+แผลก (397.53)	สารกรอง (528.20)
สารกรอง+ธูปฤาษี (376.47)		21.0667	151.7333*
สารกรอง+แผลก (397.53)			130.6667*
สารกรอง (528.20)			

ตารางที่ 32ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของแข็งละลายรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+ธูปฤาษี (362.87)	สารกรอง+แฟก (382.20)	สารกรอง (408.93)
สารกรอง+ธูปฤาษี (362.87)		19.3333	46.0667*
สารกรอง+แฟก (382.20)			26.7333*
สารกรอง (408.93)			

ตารางที่ 33ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยซีโอดีรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำต่างกัน

	4 วัน (19.5651)	7 วัน (21.1509)	1 วัน (34.0787)
4 วัน (19.5651)		1.5858	14.5135*
7 วัน (21.1509)			12.9277*
1 วัน (34.0787)			

ตารางที่ 34ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยซีโอดีรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำต่างกัน

	4 วัน (19.5190)	7 วัน (21.7658)	1 วัน (32.0509)
4 วัน (19.5190)		2.2468	12.5319*
7 วัน (21.7658)			10.2851*
1 วัน (32.0509)			

ตารางที่ 35ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยซีโอดีรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับ น้ำ 30 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำต่างกัน

	4 วัน (23.4293)	7 วัน (27.7774)	1 วัน (39.6745)
4 วัน (23.4293)		4.3481	16.2452*
7 วัน (27.7774)			11.8971*
1 วัน (39.6745)			

ตารางที่ 36ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยซีโอดีรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+ธูปฤาษี (20.2351)	สารกรอง+แผลก (25.0477)	สารกรอง (29.5119)
สารกรอง+ธูปฤาษี (20.2351)		4.8127*	9.2769*
สารกรอง+แผลก (25.0477)			4.4642*
สารกรอง (29.5119)			

ตารางที่ 37ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยซีโอดีรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+ธูปฤาษี (19.6979)	สารกรอง+แผลก (24.3912)	สารกรอง (29.2466)
สารกรอง+ธูปฤาษี (19.6979)		4.6933*	9.5487*
สารกรอง+แผลก (24.3912)			4.8554*
สารกรอง (29.2466)			

ตารางที่ 38ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยซีโอดีรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+ธูปฤาษี (25.2976)	สารกรอง+แผลก (30.3933)	สารกรอง (35.1903)
สารกรอง+ธูปฤาษี (25.2976)		5.0957	9.8927*
สารกรอง+แผลก (30.3933)			4.7970
สารกรอง (35.1903)			

ตารางที่ 39ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยปิโตรรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน

	4 วัน (6.2667)	7 วัน (7.2667)	1 วัน (14.000)
4 วัน (6.2667)		1.0000	7.7333*
7 วัน (7.2667)			6.7333*
1 วัน (14.000)			

ตารางที่ 40ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยปิโตรรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน

	4 วัน (6.1333)	7 วัน (7.0667)	1 วัน (12.9333)
4 วัน (6.1333)		0.9333	6.8000*
7 วัน (7.0667)			5.8667*
1 วัน (12.9333)			

ตารางที่ 41ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยปิโตรรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน

	4 วัน (7.3333)	7 วัน (8.4000)	1 วัน (14.8000)
4 วัน (7.3333)		1.0667	7.4667*
7 วัน (8.4000)			6.4000*
1 วัน (14.8000)			

ตารางที่ 42ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยปิโตรรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+รฐภาษี (6.0667)	สารกรอง+แผลก (9.0667)	สารกรอง (12.4000)
สารกรอง+รฐภาษี (6.0667)		3.0000*	6.3333*
สารกรอง+แผลก (9.0667)			3.3333*
สารกรอง (12.4000)			

ตารางที่ 43ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยปิโตรรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+ธูปฤาษี (6.0000)	สารกรอง+แผลก (8.3333)	สารกรอง (11.8000)
สารกรอง+ธูปฤาษี (6.0000)		2.3333*	5.8000*
สารกรอง+แผลก (8.3333)			3.4667*
สารกรอง (11.8000)			

ตารางที่ 44ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยปิโตรรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร โดยใช้สารกรองต่างกัน

	สารกรอง+ธูปฤาษี (7.4000)	สารกรอง+แผลก (9.5333)	สารกรอง (13.6000)
สารกรอง+ธูปฤาษี (7.4000)		2.1333	6.2000*
สารกรอง+แผลก (9.5333)			4.0667*
สารกรอง (13.6000)			

