ประสิทธิภาพของระบบสวนพืชลอยน้ำในการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อม

Efficiency of the floating aquatic plant system for treatment of textile wastewater

ขนิษฐา เจริญลาภ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
สิงหาคม ๒๕๕๕
(งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี ๒๕๕๕)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
รายการตาราง	จ
รายการรูปประกอบ	ฉ
บทที่ ๑ บทนำ	๑
บทที่ ๒ เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	๓
บทที่ ๓ วิธีการวิจัย	๑๔
บทที่ ๔ ผลการทดลอง	๑๗
บทที่ ๕ สรุปและข้อเสนอแนะ	๓๙
เอกสารอ้างอิง	๔๑
ภาคผนวก ก	๔๕
ภาคผนวก ข	๕๒
ประวัติผู้วิจัย	๕๙

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบสวนพืชลอยน้ำ ในการบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อม รวมถึงการเติบโตและการอยู่รอดของหญ้าแฝก ใช้น้ำเสียจากการฟอกย้อมซึ่งมีค่าพีเอช ๕.๗๘ บีโอดี ๓๑๗ มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี ๑๕๐.๑๓ มิลลิกรัมต่อลิตร ความขุ่น ๒๗.๑๖ เอ็นทียู ปริมาณของแข็งแขวนลอย ๕๕.๖๗ มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองบำบัดน้ำเสียด้วยระบบสวนแฝกลอยน้ำ พบว่าอายุของหญ้าแฝกมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย หญ้าแฝกที่มีอายุ ๓ เดือนจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการปรับสภาพค่าพีเอช ลดค่าบีโอดี ซีโอดี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอย และกำจัดสีได้ร้อยละ ๑๓, ๗๗, ๓๖, ๗๓, ๘๘, และ ๔๓ ตามลำดับ และเมื่อศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกพบว่าหญ้าแฝกที่อายุ ๓ เดือน มีความสูง ๑๓๔ เซนติเมตร ความยาวราก ๒๔.๖๒ เซนติเมตร และมีอัตราการอยู่รอดของหญ้าแฝกร้อยละ ๙๕.๕

คำสำคัญ: หญ้าแฝก พืชลอยน้ำ การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีธรรมชาติ

Abstract

This research aimed to investigate the efficiency of vetiver grass for the removal of BOD, COD, turbidity, total suspended solid, and colour from beaching and dyeing wastewater. The wastewater had pH 5.78 and containing 317 mg/l BOD, 150.13 mg/l COD, 27.16 NTU Turbidity, 55.67 mg/l suspended solid was applied. Vertiver grass system was effective in removing of pollutants. It was found from the treatment plant that: the organic removal (BOD) was on average 77%, COD 36%, turbidity 73%, suspended solid 88% and colour removal 43%. As for their growth, vertiver grass was established and growing well at the textile wastewater. After three months they also reached the 134 cm of height, 24.62 cm of the root length and 95.5% of survival rates.

Keywords: vertiver grass, floating aquatic plant system, natural wastewater treatment

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องประสิทธิภาพของระบบสวนพืชลอยน้ำในการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อม สำเร็จลุล่วงด้วยดีจนสมบูรณ์ โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากเงินอุดหนุนการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ปี ๒๕๕๕ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ขอขอบพระคุณ นายธนกร เผ่ามหานาคะ เจ้าของโรงงานเจริญชัยการย้อม ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำเสียในการทดลอง ตลอดจนนางสาวกัญธิมารัก ศรีพิมล และนางสาวชนากานต์ ฟักทับทิม นักศึกษาสาขาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ ที่ได้มีส่วนร่วมเป็นผู้ช่วยในการดำเนินการวิจัย

ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับความสำเร็จของงานวิจัยนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
รายการตาราง	จ
รายการรูปประกอบ	ฉ
บทที่ ๑ บทนำ	๑
บทที่ ๒ เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	๓
บทที่ ๓ วิธีการวิจัย	๑๔
บทที่ ๔ ผลการทดลอง	๑๗
บทที่ ๕ สรุปและข้อเสนอแนะ	๓๙
เอกสารอ้างอิง	๔๑
ภาคผนวก ก	๔๕
ภาคผนวก ข	๕๒
ประวัติผู้วิจัย	๕๙

รายการตาราง

		หน้า
ตารางที่ ๒.๒.๑	ลักษณะและหน้าที่ของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ	๖
ตารางที่ ๒.๒ ๒	กลไกการกำจัดมลสารต่าง ๆ ในพื้นที่ชุ่มน้ำ	๗
ตารางที่ ๔.๑.๑	ลักษณะน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก	๑๘
ตารางที่ ๔.๓.๑	ค่าเฉลี่ยความยาวของลำต้น และรากหญ้าแฝก ในระบบบำบัดน้ำเสีย	๒๑
ตารางที่ ๔.๔.๑	การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี ที่อายุหญ้าแฝกต่างกัน	๒๗
ตารางที่ ๔.๔.๒	การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการปรับสภาพพีเอช ที่อายุของปลูกหญ้าแฝกต่างกัน	๒๙
ตารางที่ ๔.๔.๓	การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ที่อายุของหญ้าแฝกต่างกัน	๓๑
ตารางที่ ๔.๔.๔	การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ อายุของหญ้าแฝกต่างกัน	๓๓
ตารางที่ ๔.๔.๕	การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ที่อายุของหญ้าแฝกต่างกัน	๓๕
ตารางที่ ๔.๔.๖	การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ที่อายุของหญ้าแฝกต่างกัน	๓๗

รายการรูปประกอบ

		หน้า
รูปที่ ๒.๑.๑	ชนิดของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ (wetland plant)	๕
รูปที่ ๒.๓.๑	หญ้าแฝก	๙
รูปที่ ๒.๓.๒	การปลูกหญ้าแฝกเป็นแพลอยน้ำ	๑๒
รูปที่ ๓.๓.๑	สวนแฝกลอยน้ำ	๑๕
รูปที่ ๓.๓.๒	โครงสร้างทุ่นลอยสำหรับปลูกต้นแฝก	๑๖
รูปที่ ๔.๑.๑	ภาพรวมภายในโรงงานเจริญชัยการย้อม	๑๗
รูปที่ ๔.๑.๒	ผลิตภัณฑ์จากโรงงานเจริญชัยการย้อม	๑๗
รูปที่ ๔.๑.๓	ลักษณะน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก	๑๘
รูปที่ ๔.๒.๑	รูปแบบการติดตั้งทุ่นแฝกลอยน้ำ	๑๙
รูปที่ ๔.๒.๒	ตัวยึดทุ่นลอยสำหรับปลูกต้นแฝก	๑๙
รูปที่ ๔.๒.๓	ทุ่นลอยสำหรับปลูกต้นแฝก	๒๐
รูปที่ ๔.๒.๔	แพต้นแฝก	๒๐
รูปที่ ๔.๒.๕	แพต้นแฝกในบ่อบำบัดน้ำเสีย	๒๐
รูปที่ ๔.๓.๑	รากและลำต้นหญ้าแฝกอายุ ๔ เดือน	๒๕
รูปที่ ๔.๔.๑	อายุของหญ้าแฝกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของน้ำเสีย	๒๖
รูปที่ ๔.๔.๒	อายุของหญ้าแฝกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการปรับสภาพพีเอชของน้ำเสีย	๒๘
รูปที่ ๔.๔.๓	อายุของหญ้าแฝกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการลดค่าความขุ่นของน้ำเสีย	๓๐
รูปที่ ๔.๔.๔	อายุของหญ้าแฝกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำเสีย	๓๒
รูปที่ ๔.๔.๕	อายุของหญ้าแฝกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของน้ำเสีย	๓๔
รูปที่ ๔.๔.๖	อายุของหญ้าแฝกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำเสีย	๓๖

บทที่ ๑
บทนำ

๑.๑ ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น การบำบัดโดยระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) การใช้สารเคมีตกตะกอน (chemical coagulation-flocculation) ซึ่งเป็นวิธีที่ต้องใช้เทคโนโลยีสูง ซับซ้อน และมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ค่อนข้างสูง ทั้งในด้านเครื่องจักรกล พลังงาน ตลอดจนการบำรุงรักษาอย่างมาก และพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการควบคุมดูแลระบบให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่ได้ออกแบบไว้ต้องอาศัยผู้ชำนาญในการดูแลรักษาระบบ และอาจพบปัญหาจากการออกแบบก่อสร้างคลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎีธรรมชาติ จากการศึกษาแนวพระราชดำริ และทฤษฎีธรรมชาติของการย่อยสลายสารอินทรีย์ ที่มีในน้ำเสียได้สารอนินทรีย์ หรือธาตุอาหารพืช ด้วยทฤษฎีธรรมชาติดังกล่าว องค์พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ ทรงมีพระราชดำริในการดำเนินการด้านการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยอาศัยหลักการธรรมชาติช่วยธรรมชาติ (สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, ๒๕๔๙) โดยมีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์กันอย่างกว้างขวางมากขึ้น ใช้พืชน้ำจำพวก กก *(Cyperus alternifolius* L.) ธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) ผักตบชวา *(Eichhornia crassipes* (C. Mart.) Solms) สาหร่ายบางชนิด ซึ่งสามารถเปลี่ยนน้ำเสียให้เป็นน้ำดีได้ และพบว่าหญ้าแฝก *(Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) เป็นพืชที่สามารถทนทาน และปรับตัวได้ดีในสภาพน้ำท่วมขัง Xia et al. (๒๐๐๓) ได้ทดลองปลูกหญ้าแฝก ต้นอ้อ ธูปฤาษี และกกกระจูด พบว่าหญ้าแฝกมีความสามารถในการปรับตัวเองให้อยู่รอดในน้ำเสียได้ดีที่สุด พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงมีพระราชดำริในการนำหญ้าแฝกมาปลูกลงบนแพลอยน้ำ (hydroponic) ที่ทำจากกระบอกไม้ไผ่บริเวณทางระบายน้ำ น้ำที่เคยดำและเน่าเหม็นกลับใสและกลิ่นเหม็นลดลง เนื่องจากระบบรากของหญ้าแฝก จะทำหน้าที่ดูดซับสารอินทรีย์ และสารปนเปื้อนต่าง ๆ ในน้ำทิ้ง (ดวงแก้ว, ๒๕๕๐)

การศึกษาและพัฒนาวิธีการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม โดยใช้เทคโนโลยีอย่างง่าย และต้นทุนต่ำจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการวางแผนการจัดการ และแก้ไขปัญหาน้ำเสีย ด้วยการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสวนพืชลอยน้ำ (floating aquatic plant system) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และการดูแลรักษาระบบต่ำ ใช้พลังงานน้อย ง่ายต่อการดูแลรักษา สามารถดำเนินการได้เองโดยไม่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน เนื่องจากเป็นวิธีการที่อาศัยธรรมชาติให้ช่วยเหลือธรรมชาติด้วยกันเอง อาศัยพืชช่วยในการกรองหรือฟอกน้ำให้สะอาด ซึ่งเป็นผลจากการที่พืชดูดซับธาตุอาหารที่มีในน้ำเสีย และจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ ที่อาศัยอยู่ทั้งในน้ำและบริเวณรากพืช ดังนั้นงานวิจัยนี้สนใจศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อมด้วยระบบสวนพืชลอยน้ำโดยใช้หญ้าแฝกเป็นพืชหลัก เนื่องจากเป็นพืชที่หาง่าย มีอยู่ในพื้นที่ และยังเป็นพืชที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ซึ่งปัจจุบันมีการนำหญ้าแฝก มาใช้ประโยชน์ในการอนุรักษ์ดินและน้ำ ใช้เลี้ยงสัตว์ มุงหลังคา ทำสมุนไพร น้ำหอม และหัตถกรรม โดยวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ใช้พืชนี้จะช่วยลดการใช้พลังงาน สารเคมี ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดน้ำเสีย ตลอดจนเพิ่มความสวยงามด้านภูมิทัศน์ให้กับสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ระบบบำบัดน้ำเสีย

๑.๒ วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบสวนพืชลอยน้ำ ในการบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อม

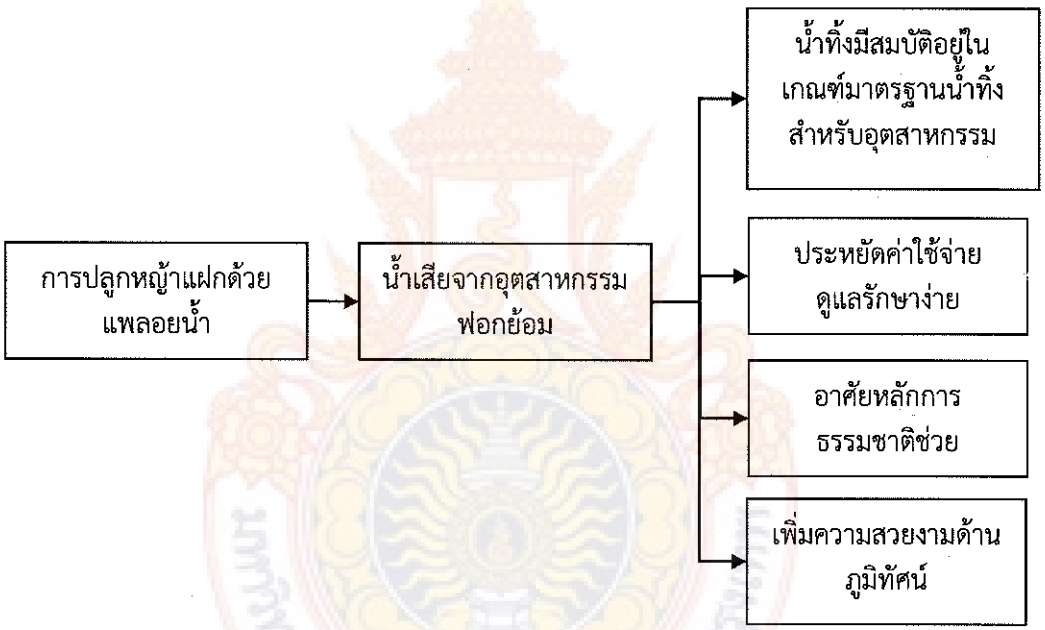
๑.๓ ขอบเขตของโครงการวิจัย

(๑) ชนิดของพืชลอยน้ำที่ใช้คือ ต้นแฝก ปลูกในแพลอยน้ำ

(๒) ทดลองกับระบบบำบัดน้ำเสียจริงของโรงงาน ขนาดบ่อมีความจุ ๗๒.๓๖ ลูกบาศก์เมตร

(๓) วิเคราะห์ พีเอช ความนำไฟฟ้า ความขุ่น บีโอดี ซีโอดี ของน้ำก่อนเข้าระบบ และหลังจาก ผ่านระบบสวนพืชลอยน้ำที่มีต้นแฝก

๑.๔ กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย



๑.๕ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

(๑) แนวทางการประยุกต์ใช้ระบบสวนพืชลอยน้ำสำหรับการบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ

(๒) ทางเลือกสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับอุตสาหกรรมที่ใช้เทคโนโลยีอย่างง่าย เน้นต้นทุนต่ำ สะดวกในการดูแลรักษาระบบและมีประสิทธิภาพ

บทที่ ๒
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

๒.๑ การบำบัดน้ำเสียแบบใช้ธรรมชาติ

การบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติอาศัยกลไกธรรมชาติทั้งที่เป็นกระบวนการทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ ที่มีอยู่ในดิน น้ำ พืช และจุลชีพเพื่อช่วยในการปรับสภาพน้ำเสียให้เป็นน้ำที่มีสารปนเปื้อนลดน้อยลง โดยไม่ใช้เครื่องจักรกล จึงเป็นวิธีที่ประหยัดพลังงานไฟฟ้า แต่ต้องอาศัยเทคนิคการบริหารจัดการพื้นที่บำบัดอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากต้องใช้พื้นที่มาก และต้องไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติ มีอยู่ด้วยกัน ๓ วิธี ได้แก่ วิธีบำบัดน้ำเสียแบบกระจายบนดิน (land treatment systems) วิธีบึงประดิษฐ์ (constructed wetland systems) และวิธีพืชลอยน้ำ (floating aquatic plant treatment systems)

(๑) วิธีบำบัดน้ำเสียแบบกระจายบนดิน (land treatment systems) เป็นวิธีการปล่อยน้ำเสียลงบนพื้นที่เกษตรกรรม หรือพื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่ได้ใช้ในกิจกรรมใด ๆ ทั้งสิ้น วิธีนี้เป็นวิธีที่ประหยัดแต่ต้องใช้พื้นที่มากในการบำบัดน้ำเสีย การใช้วิธีนี้ต้องคำนึงด้วยว่าในน้ำเสียมีสารพิษปะปนหรือไม่ เนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อการเจริญงอกงามของพืช และถ้าเป็นพืชที่ต้องนำมารับประทานเป็นอาหาร อาจมีการปนเปื้อนของสารพิษเหล่านั้นในพืชผลที่เก็บเกี่ยวได้

(๒) วิธีบึงประดิษฐ์หรือระบบที่ชุ่มน้ำเทียม (constructed wetland systems) เป็นวิธีการปล่อยน้ำเสียลงในบึง ซึ่งสร้างขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการบำบัดน้ำเสียโดยตรง บึงประดิษฐ์ที่มีความลึกน้อยกว่า ๐.๖ เมตร มีพืชน้ำซึ่งมีรากอยู่ใต้ดินเจริญเติบโตภายในบึง ซึ่งรากของพืชเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้แบคทีเรียเกาะได้ และทำหน้าที่เป็นตัวกรองและตัวดูดซับสารปนเปื้อนต่าง ๆ ในน้ำเสีย เพิ่มปริมาณออกซิเจนให้แก่น้ำ และใบของพืชป้องกัน ยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยทำหน้าที่กั้นแสงแดดไม่ให้ส่องลงไปใน

(๓) วิธีพืชลอยน้ำ (floating aquatic plant treatment systems) การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้คล้ายคลึงกับระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน ส่วนที่แตกต่างกันคือพืชที่ใช้ในการบำบัด ซึ่งเป็นพืชจำพวกผักตบชวา และ แหน ความลึกของบ่อมีความลึกมากกว่า คือ ๕๐-๑๘๐ เซนติเมตร น้ำเสียที่จะเข้าไปบำบัดด้วยวิธีนี้ต้องผ่านการตกตะกอนและการเติมอากาศในระยะเวลาสั้นมาก่อน เพื่อให้บ่อบำบัดมีปริมาณออกซิเจนตลอดเวลาและเพื่อป้องกันกลิ่นเหม็น และแมลงต่าง ๆ มาตอม เมื่อน้ำเสียที่ปล่อยลงบ่อไหลผ่านรากพืชลอยน้ำ ซึ่งมีแบคทีเรียเกาะอยู่บนราก ก็จะเกิดการบำบัดน้ำเสียขึ้น

๒.๒ การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีพืชลอยน้ำ (free floating macrophyte-based system)

พรรณไม้น้ำ หรือพืชน้ำ (aquatic plants, water plants, hydrophytes) หมายถึง พืชที่ขึ้นอยู่ในน้ำ โดยอาจจะจมอยู่ใต้น้ำทั้งหมด หรือโผล่บางส่วนขึ้นมาอยู่เหนือน้ำ ลอยอยู่ที่ผิวน้ำหรือเป็นพืชที่ขึ้นอยู่ ตามริมน้ำ ชายตลิ่ง นอกจากนี้ยังรวมถึงพืชที่เจริญเติบโตอยู่ในบริเวณที่ลุ่มน้ำขังด้วย

๒.๒.๑ ประเภทของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ

พืชในพื้นที่ชุ่มน้ำจำแนกได้เป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

(๑) จำแนกตามขนาด ได้เป็น ๒ ประเภท คือ

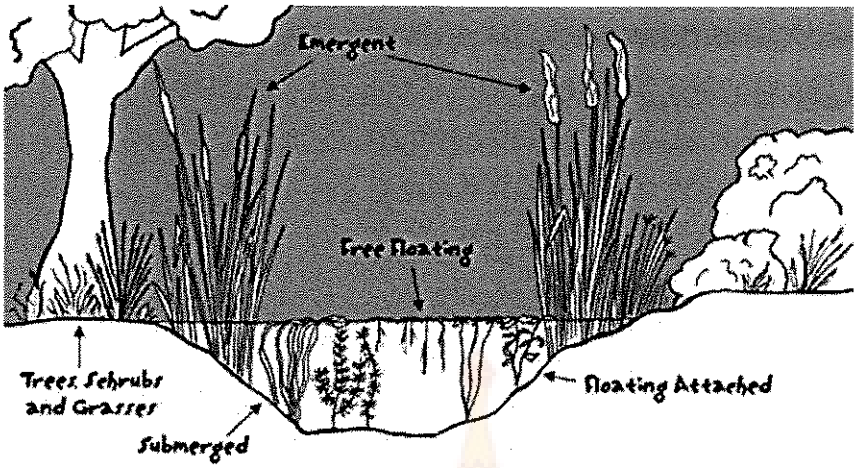
- Microphytes คือ พืชที่มีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์
- Macrophytes คือ พืชที่มีขนาดใหญ่ มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ กลุ่มสาหร่าย กลุ่มมอส กลุ่มเฟิร์น และกลุ่มพืชมีเมล็ด สำหรับพืชในกลุ่มนี้แบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามลักษณะแหล่งน้ำได้ ๒ ประเภท คือ

  Limnophytes เป็นพืชที่ขึ้นอยู่ในบริเวณแหล่งน้ำจืด

  Halophytes เป็นพืชที่ขึ้นอยู่ในบริเวณแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำเค็ม

(๒) จำแนกตามลักษณะการเจริญเติบโตในแหล่งน้ำ หรือแหล่งที่อยู่ มี ๔ ประเภท คือ

- พืชลอยน้ำ (floating plants) เป็นพรรณไม้น้ำที่เจริญลอยอยู่ในระดับผิวน้ำ มีรากห้อยอยู่ใต้ระดับน้ำ ส่วนของลำต้น ใบและดอก เจริญอยู่เหนือน้ำ ถ้าอยู่ในน้ำตื้น ๆ รากอาจจะหยั่งยึดพื้นดินใต้น้ำก็ได้ พืชประเภทนี้ส่วนใหญ่มักจะมีส่วนหนึ่งส่วนใดเปลี่ยนไปเป็นทุ่น เพื่อพยุงลำต้นให้ลอยน้ำได้ เช่น ผักตบชวามีส่วนของก้านใบพองตัวเป็นทุ่น ผักบุ้งมีส่วนลำต้นภายในกลวง ช่วยให้ลำต้นเลื้อยทอดตัวไปบนผิวน้ำได้ดี
- พืชใต้น้ำ (submerged plants) เป็นพืชที่มีส่วนของราก ลำต้น และใบอยู่ใต้น้ำทั้งหมด อาจมีรากยึดติดกับพื้นดินใต้น้ำหรือไม่ก็ได้ บางชนิดเมื่อเจริญเต็มที่ก็จะส่งดอกขึ้นมาเจริญที่ผิวน้ำหรือเหนือน้ำ เช่น สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด และสันตะวา
- พืชโผล่เหนือน้ำ (emerged plants) เป็นพืชที่เจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำบางส่วน และโผล่เหนือน้ำบางส่วน โดยมีรากหรือทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ แล้วส่งส่วนของใบและดอกขึ้นมาเจริญเหนือน้ำ เช่น บัวต่าง ๆ กกบางชนิด
- พืชชายน้ำ (marginal plants) เป็นพืชที่ขึ้นตามชายน้ำ ริมตลิ่ง หรือหนองน้ำที่ท่วมขังตื้น ๆ โดยทั่วไปมีรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดิน และส่งลำต้นบางส่วน ใบ และดอกขึ้นมาเหนือน้ำ เช่น ผักเป็ดน้ำ หญ้าต่าง ๆ พืชน้ำประเภทนี้มีลักษณะใกล้เคียงกับพืชโผล่เหนือน้ำจนบางครั้งไม่สามารถแยก ได้ชัดเจน เช่น ผักตบไทย โสน



รูปที่ ๒.๑.๑ ชนิดของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ (wetland plant)

ที่มา: http://waterwatchadelaide.net.au/index.php?page=growth-forms [๒๐๑๒, July, ๒๖]

๒.๒.๒ ประโยชน์ของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ

(๑) ใช้เป็นอาหารของมนุษย์ เช่น ข้าว กระจับ บัวหลวง บัวสาย โสน ผักบุ้ง

(๒) ใช้ประดิษฐ์เป็นเครื่องจักสาน และของใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น กก ผักตบชวา นำมาทำเสื่อ กระเป๋า ต้นจาก นำใบมาใช้มุงหลังคา

(๓) ใช้ประโยชน์ด้านการเกษตร เช่น แหนเป็ด ผักตบชวา สาหร่ายชนิดต่างๆ ใช้เป็นอาหารสัตว์ แหนแดง ใช้เลี้ยงเป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าว

(๔) ใช้ประโยชน์ด้านการประมง ได้แก่ เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ เป็นแหล่งอาหารของสัตว์น้ำต่างๆ

(๕) ใช้ปลูกเป็นไม้ดอกไม้ประดับ เช่น บัวสาย พุทธรักษา ใช้ในการจัดตู้พรรณไม้น้ำ ได้แก่ สาหร่ายหางกระรอก สันตะวาหางไก่

(๖) ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ และโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ผักตบชวา บัว สาหร่ายชนิดต่าง ๆ

๒.๒.๓ การบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยพืช

การใช้พืชเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ สามารถเลือกตามลักษณะ หน้าที่ หรือความสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพ ดังแสดงในตารางที่ ๒.๒.๑

ตารางที่ ๒.๒.๑ ลักษณะและหน้าที่ของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ

ชนิดพืช	ลักษณะทั่วไปของพืช	หน้าที่ของพืช
พืชลอยน้ำ	โครงสร้างของใบและรากติดกัน โดยมีโครงสร้างของใบและลำต้นลอยอยู่เหนือผิวน้ำ เคลื่อนที่ไปตามกระแสน้ำ	ทำหน้าที่ในการดูดซับธาตุอาหาร ให้ร่มเงาปิดกั้นแสงแดดไม่ให้ผ่านลงไปในน้ำ เป็นการชะลอการเจริญเติบโตของสาหร่าย และช่วยในการกระจายออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำ
พืชจมน้ำ	โครงสร้างของใบ และลำต้นลอยอยู่ระหว่างผิวดินด้านล่างของพื้นที่ชุ่มน้ำ กับผิวน้ำด้านบน	มีโครงสร้างของใบ และรากเป็นที่ยึดเกาะของพวกจุลินทรีย์ และช่วยในการเคลื่อนย้ายแก๊สออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำ
พืชโผล่พ้นน้ำ	มีโครงสร้างรากอยู่ด้านล่าง และลำต้นอยู่เหนือผิวน้ำ สัมผัสอากาศโดยตรงเป็นพืชที่ทนต่อสภาวะน้ำท่วมขังได้ดี	ลักษณะโครงสร้างของใบ และลำต้นที่อยู่เหนือน้ำของพืชช่วยในการกระจายการไหลของน้ำ และลดความเร็วของน้ำ เป็นการกรองสารแขวนลอยได้ดี พร้อมทั้งยังมีหน้าที่ในการปิดกั้นแสงไม่ให้ส่องผ่านลงในน้ำได้เท่ากับเป็นการชะลอการเจริญเติบโตของสาหร่าย

ที่มา: USA EPA, ๒๐๐๐.

พืชจะช่วยในการบำบัดน้ำเสียโดยการดูดซึมธาตุอาหาร โลหะหนัก และสารอื่น ๆ ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียเพื่อนำมาใช้ในการเจริญเติบโตโดยผ่านทางระบบรากเข้าสู่ลำต้น นอกจากนี้รากพืชยังเป็นส่วนสำคัญในการบำบัดน้ำเสีย คือทำหน้าที่เพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ มีการเคลื่อนย้ายแก๊สต่าง ๆ รวมถึงออกซิเจนจากกาบใบลงสู่ระบบราก เกิดสภาพออกซิเจนเป็นฟิล์มบาง ๆ (rhizophere) รอบ ๆ ราก ทำให้จุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสิ่งสกปรกต่าง ๆ ในน้ำ ทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น (Hammer and Bastain, ๑๙๘๙) นอกจากนี้ก้านหรือลำต้นที่อยู่ในน้ำเป็นตัวกลางในการกรองดูดซับตะกอน และของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ

จากที่กล่าวมาข้างต้น พืชจะมีกลไกหลายประการที่ทำให้สามารถลดปริมาณสารปนเปื้อนในน้ำเสีย การนำพืชมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจะมีข้อจำกัด กล่าวคือต้องมีการคัดเลือกชนิดพืชที่เหมาะสม โดยสมบัติของพืชที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย สรุปได้ดังนี้

(๑) สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดีในท้องถิ่นนั้น ๆ นอกจากนี้ยังต้องสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง

(๒) มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง และเจริญเติบโตได้ดี

(๓) มีความสามารถในการส่งผ่านออกซิเจนได้สูง โดยนำออกซิเจนจากบรรยากาศส่งผ่านมาตามใบ ลำต้น และราก โดยพืชจำพวกธูปฤาษี มีชั้นรากหนาประมาณ ๐.๓๐ เมตร และรากพืชจำพวกกก แฝก จะหยั่งลึกถึง ๐.๗๐ เมตร

(๔) สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษได้ในช่วงกว้าง

(๕) มีความสามารถในการดูดซึมและเก็บสะสมสารต่างๆได้

(๖) มีความคงทนต่อโรคและแมลงต่างๆได้ดี

(๗) สามารถนำออกระบบได้ง่าย เนื่องจากพืชจะลดปริมาณสารที่มีอยู่ในน้ำเสียให้ได้ผลดีที่สุดนั้น พืชต้องมีการนำออกจากระบบบ้าง เพื่อมิให้พืชอยู่หนาแน่นจนเกินไปจนระบบขาดประสิทธิภาพ

US Army Corps of Engineering (๑๙๙๓) แนะนำให้ใช้พืชจากบริเวณใกล้เคียง ในรัศมี๑๐๐ ไมล์ทางเส้นรุ้ง ความยาว ๒๐๐ ไมล์ทางเส้นแวง และระดับความสูงไม่เกิน ๑,๐๐๐ ฟุต โดยนักนิเวศน์วิทยาได้อธิบายว่าหากนำพืชจากบริเวณอื่น มาการเจริญเติบโตของพืชอาจถูกยับยั้งได้ (Davis et al., ๑๙๙๗)

ระบบบึงประดิษฐ์ถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งต่าง ๆ กันอย่างแพร่หลาย เช่นน้ำเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งการบำบัดน้ำเสียด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำอาศัยการปลดปล่อยออกซิเจนของพืชที่ได้จากการสังเคราะห์แสง กระบวนการย่อยสารอินทรีย์ต่างๆ จากจุลินทรีย์ในดิน การดูดซึมสารอาหารของพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และการกรองสิ่งปนเปื้อนของดินร่วมกัน ซึ่งสามารถบำบัดความสกปรกของน้ำเสียโดยลดปริมาณบีโอดี (BOD) ของแข็งแขวนลอย (TSS) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โลหะหนักและเชื้อโรคบางชนิดได้ (Kadlec and knight, ๑๙๙๖) โดยเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นร่วมกันระหว่างปฏิกิริยาทางชีววิทยา ปฏิกิริยาทางฟิสิกส์เคมี (Ayaz and Akca, ๒๐๐๑ and Coleman et.al,๒๐๐๑) ซึ่งการกำจัดมลสารต่างๆ ในพื้นที่ชุ่มน้ำมีกลไกการบำบัด ดังแสดงในตารางที่ ๒.๒.๒

ตารางที่ ๒.๒ ๒ กลไกการกำจัดมลสารต่าง ๆ ในพื้นที่ชุ่มน้ำ

กลไกการกำจัดมลสาร	ของแข็งที่ตกตะกอน (settleable solids)	ของแข็งแขวนลอย (colloidal solids)	บีโอดี (BOD)	ไนโตรเจน (N)	ฟอสฟอรัส (P)	โลหะหนัก	แบคทีเรียและไวรัส
กายภาพ							
- การตกตะกอน	P	S	I	I	I	I	I
- การกรอง	S	S					
- การดูดซับทางกายภาพ		S					
เคมี							
- การตกตะกอน					P	P	
- การดูดซับทางเคมี					P	P	
ชีวภาพ							
- กลไกของแบคทีเรีย		P	P	P			
- กลไกของพืช							S
- การดูดซับโดยพืช				S	S	S	
- การตายโดยธรรมชาติ							P

หมายเหตุ: P หมายถึงกลไกหลัก S หมายถึงกลไกรอง I หมายถึง ผลที่เกิดเสริมจากการกำจัดมลสารอื่น ๆ

การนำพืชมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย มีผู้ทดลองใช้พืชน้ำหลายชนิด เช่น ธูปฤาษี อ้อ กก แฝก และผักตบชวา เป็นต้น เนื่องจากสามารถเจริญเติบโตได้ในบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำ และยังสามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียอุตสาหกรรมได้ (Kadlec and knight, ๑๙๙๖; Cooper et al., ๑๙๙๖)

ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการศึกษา เพื่อนำพืชมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย พบว่ามีประสิทธิภาพดีในการบำบัดน้ำเสีย พืชลอยน้ำ (floating plant) จากการศึกษาลักษณะทางพฤกษศาสตร์พืชลอยน้ำ (floating plant) ๕ ชนิด คือ ผักตบชวา จอก จอกหูหนู แพงพวยน้ำ และแหนเป็ดใหญ่ ของนิศานารท ละอองพันธ์ และอำพร คล้ายแก้ว (๒๕๕๒) รายงานว่า ผักตบชวา จอก จอกหูหนู และแพงพวยน้ำ มีลักษณะรากเป็นระบบรากฝอย (fibrous roots system) มีลำต้นส่วนที่ทอดเลื้อยไปตามผิวน้ำ เรียก ไหล (stolon) เหมือนกัน แต่มีบางลักษณะต่างกัน เช่น จอกหูหนู ไม่สร้างดอก แต่มีอวัยวะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ เรียก sporocarp ซึ่งทำหน้าที่สร้างสปอร์ ขยายพันธุ์โดยสปอร์และการแตกไหล แหนเป็ดใหญ่ มีโครงสร้างที่ต่างจากพืชลอยน้ำอื่น มีแผ่นใบเรียกทัลลัส (thallus) มีดอกขนาดเล็กมากและมักไม่ค่อยออกดอก ดังนั้นจึงขยายพันธุ์โดยการแตกทัลลัสใหม่ ส่วนผักตบชวา จอก และแพงพวยน้ำ ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด และการแตกไหล เมื่อศึกษาการเจริญเติบโตของพืชลอยน้ำในสภาพน้ำเสียเทียบกับน้ำปกติ พบว่า ที่ระยะเวลาเก็บกักนาน ๗ - ๓๐ วัน ผักตบชวามีการเจริญเติบโตทางใบได้ดีที่สุด และที่ระยะเวลาเก็บกักนาน ๓๐ - ๖๐ วัน มีจำนวนต้นที่แตกกอสูงสุด ส่วนจอกมีอัตราการเพิ่มของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย โดยศึกษาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ปริมาณตะกอนที่ละลายในน้ำทั้งหมด (TDS) ปริมาณแอมโมเนีย (NH_4^+) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) พบว่า จอกหูหนูมีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละของค่า DO สูงสุด คือร้อยละ ๙๙.๖๓ ที่ระยะเวลาเก็บกักนาน ๑๕ วัน หลังจากระยะนี้ไปแล้วพืชทุกชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้อยมาก แพงพวยน้ำมีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละของค่า TDS สูงสุด คือร้อยละ ๒๖.๘๒ ที่ระยะเวลาเก็บกักนาน ๖๐ วัน ผักตบชวามีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละของค่า NH_4^+ สูงสุด คือร้อยละ ๘๔.๙๓ ที่ระยะเวลาเก็บกักนาน ๑๕ วัน หลังจากระยะนี้ไปแล้วพืชทุกชนิดไม่ได้ช่วยในการบำบัด จอก และจอกหูหนู มีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละของค่า TKN สูงสุดคือร้อยละ ๗๓.๔๙ และ ๗๓.๑๘ ตามลำดับ ส่วนแพงพวยน้ำมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า TP สูงสุดคือร้อยละ ๙๘.๙๕ ที่ระยะเวลาเก็บกักนาน ๖๐ วัน

จากรายงานผลการศึกษาการบำบัดน้ำเสียในชุมชนด้วยพืชน้ำในท้องถิ่น ของ ภูมิพงษ์ นวลศิริ (๒๕๕๑) โดยศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำที่มีอยู่ใน ท้องถิ่น ๕ ชนิด ได้แก่ บอน คล้าน้ำ กกราชินี เฮลิโคเนีย และว่านน้ำ ทดลองปลูกพืชแต่ละชนิดดังกล่าวลงดิน ในบ่อคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ๘๐ เซนติเมตร และอนุบาลพืชเป็นเวลา ๒ สัปดาห์ โดยค่อย ๆ เพิ่มน้ำเสียเข้าในในบ่อ เพื่อให้พืชสามารถปรับตัวได้ในน้ำเสีย สำหรับการบำบัด ต้องใส่น้ำเสียลงไปให้มีความสูงประมาณ ๓๐ เซนติเมตร พักน้ำไว้ ๗, ๑๔ และ ๒๑ วัน จากนั้นวิเคราะห์ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ของแข็งแขวนลอย และไขมัน ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียหลังครบกำหนดระยะเวลาทดลอง พบว่าเพียง ๗ วัน พืชแต่ละชนิดสามารถบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพดีขึ้น และสามารถปล่อยลงสู่ แหล่งน้ำธรรมชาติได้โดยไม่เป็นผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากพืชและสาหร่ายเซลล์เดียวในน้ำเสียเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสง และช่วยเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำเสีย จุลินทรีย์ในน้ำเสียจึงย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้มากขึ้น และช่วยลดค่าบีโอดีในน้ำเสียลงได้ และจากการวิจัย พบว่าพืชแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของชุมชนประมาณได้ ประมาณร้อยละ ๘๐ ทั้งนี้ขึ้นกับประเภทของน้ำเสียด้วย โดยคล้าน้ำมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนสูงที่สุด ส่วน กก

ราชินีสามารถบำบัดฟอสฟอรัสได้ดีที่สุด และว่านน้ำสามารถบำบัดไขมันและของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม นักวิจัยแนะนำว่า ควรตัดใบที่อยู่เหนือน้ำทิ้งทุก ๆ ๔๕ วัน เพื่อให้พืชแตกกอมากขึ้น และไม่ให้มีใบแก่ หลุดร่วงลงไปเพิ่มปริมาณของเสียในบ่อบำบัด

๒.๓ การบำบัดน้ำเสียโดยใช้หญ้าแฝก

๒.๓.๑ ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับหญ้าแฝก (กรมพัฒนาที่ดิน, ๒๕๕๓)

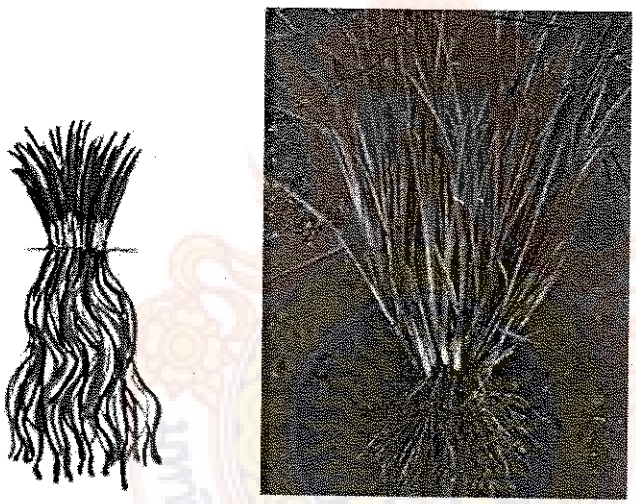
หญ้าแฝก (Vetiver grass)

ชื่อสามัญ : *Vetiveria* spp.

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash ex Small

ชื่อวงศ์ : POACEAE

ชื่ออื่นๆ : แฝก แฝกหอม แฝกลุ่ม แกงหอม แคมหอม Vetiver



รูปที่ ๒.๓.๑ หญ้าแฝก

เป็นพืชตระกูลหญ้าที่ขึ้นเป็นกอหนาแน่นอยู่ตามธรรมชาติทั่วทุกภาคของประเทศจากที่ลุ่มจนถึงที่ดอน สามารถขึ้นได้ดีในดินเกือบทุกชนิด เจริญเติบโตโดยการแตกกอ เส้นผ่าศูนย์กลางกอประมาณ ๓๐ เซนติเมตร ความสูงจากยอดประมาณ ๐.๕-๑.๕ เมตร ใบแคบยาวประมาณ ๗๕ เซนติเมตร กว้างประมาณ ๘ มิลลิเมตร ค่อนข้างแข็งเจริญเติบโตในแนวดิ่งมากกว่าออกทางด้านข้าง และมีจำนวนรากมากจึงเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี รากจะประสานติดต่อกันหนาแน่นเสมือนม่านหรือกำแพงใต้ดิน สามารถกักเก็บน้ำและความชื้นได้ ระบบรากจะแผ่ขยายกว้างเพียง ๕๐ เซนติเมตร โดยรอบกอเท่านั้น ไม่เป็นอุปสรรคต่อพืชที่ปลูกข้างเคียง จึงสามารถนำมาปลูกเพื่อใช้ในการอนุรักษ์ดินและน้ำ ช่วยให้ดินมีความชุ่มชื้นและรักษาหน้าดิน รักษาสภาพแวดล้อมและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ สามารถนำไปปลูกบนพื้นที่สองข้างทางชลประทาน อ่างเก็บน้ำ บ่อน้ำ ป่าไม้ขอบตลิ่ง คอสะพาน ไหล่ถนน เพื่อป้องกันการชะล้างพังทลายได้

หญ้าแฝก พบกระจายอยู่ทั่วไปหลายพื้นที่ตามธรรมชาติ จากการสำรวจพบว่า มีกระจายอยู่ทั่วโลก ประมาณ ๑๒ ชนิด และสำรวจพบในประเทศไทย ๒ ชนิด ได้แก่

(๑) กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกลุ่ม (*Vetiveria zizanioides* Linn.) ได้แก่ พันธุ์สุราษฎร์ธานี กำแพงเพชร ๒ ศรีลังกา สงขลา ๓ และพระราชทาน ฯลฯ

(๒) กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกดอน (*Vetiveria nemoralis* Balansa A. Camus) ได้แก่ พันธุ์ราชบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ร้อยเอ็ด กำแพงเพชร ๑ นครสวรรค์ และเลย เป็นต้น

๒.๓.๒ การขยายพันธุ์หญ้าแฝก

การขยายแม่พันธุ์ คือการนำแม่พันธุ์หญ้าแฝกที่มีลักษณะดีมาขยายเพิ่มปริมาณทั้งการปลูกลงดิน ปลูกลงถุงพลาสติกขนาดใหญ่ หรือการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ส่วนการขยายพันธุ์กล้าหญ้าแฝก คือการนำหน่อที่ได้จากการขยายแม่พันธุ์มาเพาะชำเพื่อนำไปปลูกในพื้นที่ ได้แก่ กล้าในถุงพลาสติกขนาดเล็ก และกล้าหญ้าแฝกแบบรากเปลือย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

(๑) การขยายแม่พันธุ์หญ้าแฝก

- การขยายพันธุ์ในแปลงขนาดใหญ่ การขยายพันธุ์หญ้าแฝกในแปลงขนาดใหญ่เหมาะสมกับพื้นที่ที่มีการชลประทานและระบายน้ำดี สามารถปลูกเป็นแปลงขนาดใหญ่ โดยไม่ต้องยกร่องก็ได้ การเตรียมต้นพันธุ์โดยแยกหน่อจากกออนำมาตัดใบให้เหลือความยาว ๒๐ เซนติเมตร และตัดรากให้สั้นแช่ในระดับน้ำสูง ๕ เซนติเมตร เป็นระยะเวลา ๕-๗ วัน รากจะแตกออกมาใหม่ นำไปปลูกโดยใช้ระยะปลูกห่างต้น ๕ เซนติเมตร และระหว่างแถว ๕๐ เซนติเมตร หลังจากปลูกต้องให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ เมื่ออายุได้ ๑ เดือน ใส่ปุ๋ยสูตร ๑๕-๑๕-๑๕ ต้นละ ๑ ช้อนชา เมื่อถึงอายุ ๔-๖ เดือน ให้ขุดนำไปเพาะชำในถุงพลาสติก หรือเตรียมเป็นกล้ารากเปลือยสำหรับใช้ประโยชน์ได้ต่อไป
- การขยายพันธุ์ในถุงพลาสติกขนาดใหญ่ การขยายพันธุ์โดยการปลูกในถุงพลาสติกขนาดใหญ่ โดยวางเป็นแถวคู่ติดกันระยะห่างระหว่างแถวคู่ ๑ เมตร ยาวตามพื้นที่ใช้วัสดุปลูกที่มีการระบายน้ำดี เช่น ดินร่วนทราย และขี้เถ้าแกลบ หรือขุยมะพร้าว ในสัดส่วน ๑:๒:๑ ติดตั้งระบบน้ำพ่นฝอย หรือมีตาข่ายพรางแสง นำหน่อมาปักชำดูแลจนกระทั่งอายุ ๔ เดือน จึงนำไปแยกหน่อเพาะชำต่อไป

(๒) การขยายกล้าหญ้าแฝกสำหรับใช้ปลูก

- การเตรียมกล้าหญ้าแฝกในถุง โดยตัดรากให้สั้น และแยกหน่อจากกอตัดใบให้ยาว ๑๐ เซนติเมตร นำมาล้างน้ำ มัดรวมกันวางลงบนขุยมะพร้าวที่ชื้น หรือแช่ในระดับน้ำสูง ๕ เซนติเมตร ในที่ร่มเงา ๔ วัน แล้วจึงคัดหน่อที่ออกรากมาปักชำในถุงพลาสติกขนาดเล็ก (๒X๖ นิ้ว) และใส่วัสดุเพาะชำที่ระบายน้ำดีมีธาตุอาหารสมบูรณ์ ดูแลรดน้ำในสภาพเรือนเพาะชำ เมื่ออายุ ๔๕-๖๐ วัน ให้นำไปปลูกในพื้นที่ขณะที่ดินมีความชื้น
- การเตรียมกล้าหญ้าแฝกแบบรากเปลือย โดยการแยกหน่อจากกอ ตัดใบให้ยาว ๒๐ เซนติเมตร ตัดรากให้สั้น วางบนขุยมะพร้าวที่ชื้น หรือแช่ในน้ำให้ท่วมรากจนกระทั่งรากงอกขึ้นมายาว ๑-๒

เซนติเมตร นานประมาณ ๕-๗ วัน จึงนำไปปลูกในช่วงต้นฤดูฝน และหลังจากปลูกดินควรมีความชื้นติดต่อกันอย่างน้อย ๑๕ วัน

๒.๓.๓ การดูแลรักษาหญ้าแฝก

(๑) การคัดเลือกกล้าที่มีคุณภาพ กล้าหญ้าแฝกที่มีคุณภาพโดยทั่วไปเป็นกล้าที่มีอายุ ๔๕ ถึง ๖๐ วัน เมื่อนำกล้าที่แข็งแรงมาปลูกก็จะได้แนวรั้วหญ้าแฝกที่มีการเจริญเติบโตแข็งแรงอย่างสม่ำเสมอ

(๒) การเลือกช่วงเวลาปลูก การปลูกหญ้าแฝกในช่วงต้นฤดูฝนจะเหมาะสมที่สุด สภาพของดินที่ปลูกในช่วงต้นฤดูฝนจะมีความชุ่มชื้นสูงติดต่อกันมากกว่า ๑๕ วันขึ้นไป

(๓) การตัดใบ ในช่วงต้นฤดูฝนให้ตัดใบหญ้าแฝกให้สั้นสูงจากพื้นผิว ๕ เซนติเมตร เพื่อให้เกิดการแตกหน่อใหม่ และกำจัดหน่อแก่ที่แห้งตาย ในช่วงกลางฤดูฝนให้เกี่ยวใบสูงไม่ต่ำกว่า ๔๕ เซนติเมตร เพื่อให้มีแนวกอที่หนาแน่นในการรับแรงประทะของน้ำไหลบ่า และในช่วงปลายฤดูฝน เกี่ยวใบให้สั้น ๕ เซนติเมตร อีกครั้งเพื่อให้หญ้าแฝกแตกใบเขียวในฤดูแล้ง

(๔) การดูแลรักษาตามความเหมาะสม ในต้นฤดูฝนให้ใส่ปุ๋ยหมักตามแถวหญ้าแฝกก็จะเป็นการช่วยให้หญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตดีขึ้น และกำจัดวัชพืชข้างแนวจะเป็นการช่วยให้สังเกตแนวหญ้าแฝกได้ชัดเจน ช่วยให้หญ้าแฝกเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่และเพื่อป้องกันการไถแนวทิ้ง เนื่องจากสังเกตไม่เห็น

(๕) การปลูกซ่อมและแยกหน่อแก่ออก การปลูกซ่อมแซมในช่วงฤดูฝนจะทำให้ได้แนวรั้วหญ้าแฝกที่แข็งแรง และควรตัดแยกหน่อแก่ที่ออกดอกหรือแห้งออกไปเพื่อจะให้หน่อใหม่ได้แทรกขึ้นมาได้อย่างเต็มที่

๒.๓.๔ ลักษณะพิเศษของหญ้าแฝก

หญ้าแฝก มีลักษณะพิเศษหลายประการ ที่ทำให้มันมีบทบาทในการควบคุมคุณภาพน้ำ P. Truong, and B. Hart (๒๐๐๑) ได้แบ่งลักษณะพิเศษเหล่านี้ ออกเป็นลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphological features) และลักษณะทางสรีรวิทยา (physiological features) ดังนี้

ทางสัณฐานวิทยา:

- ลำต้นแข็งตรง สามารถต้านทานกระแสน้ำไหลแรงได้
- กอแน่น หนา เป็นที่กรองกั้นอนุภาค ทั้งละเอียดและหยาบ
- ระบบรากลึก แผ่กระจาย และเจาะไช ช่วยยึดลำต้น และจับยึดอนุภาคของดินไม่ให้ถูกพัดพาหรือพังทลาย

ทางสรีรวิทยา:

- ทนทานมากต่อสภาพภูมิอากาศ เช่นอากาศเย็น อากาศร้อน แห้งแล้ง น้ำท่วม พื้นที่สูง ๆ ต่ำ ๆ
- ทนทานอย่างมากต่อสภาพดินวิปลาส เช่น ดินเปรี้ยว ดินด่าง ดินเค็ม ดินที่มีแร่โซเดียม แมกนีเซียม อลูมีเนียม แมงกานีส สูงจนเกิดความเป็นพิษ
- ทนทานต่อระดับความเข้มข้นสูง ๆ ของโลหะหนัก เช่น สารหนู แคดเมียม ทองแดง โครเมียม ตะกั่ว ปรอท นิเกิล ซีลีเนียม และสังกะสี

๒.๓.๕ ประโยชน์ของหญ้าแฝก

หญ้าแฝกเป็นหญ้าที่มีคุณประโยชน์มากมาย การนำหญ้าแฝกไปใช้อนุรักษ์ดินและน้ำ ได้ผลอย่างดีมาก นอกจากนี้หญ้าแฝกยังมีประโยชน์ในด้านอื่น ๆ อีกมาก มีรายงานวิจัยพบว่าหญ้าแฝกมีความสามารถในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงได้นำหญ้าแฝกมาใช้ในการ รักษาและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม ได้แก่

- ปลูกหญ้าแฝกเพื่อกำจัดสารพิษจากขยะ เป็นการปลูกสกัดไม่ให้สารพิษในส่วนที่เป็นน้ำไหลออกมานอกกองขยะ วิธีการทำได้โดยการปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวเช่นเดียวกับการปลูกหญ้าแฝกล้อมต้นไม้ แต่เป็นการปลูกล้อมกองขยะ โดยในแถวหญ้าแฝกต้นต้องปลูกชิดติดกันเหมือนแนวรั้วหรือกำแพงธรรมชาติ จำนวน ๓-๕ วง ห่างกันวงละ ๒ เมตร หรือปลูกหญ้าแฝกเป็นเส้นขวางทางน้ำจากกองขยะที่จะไหลไปปนเปื้อนบริเวณที่ต่ำกว่า จำนวน ๓-๕ แถว ห่างกันแถวละ ๒ เมตร
- การปลูกหญ้าแฝกเพื่อลดระดับน้ำใต้ดิน เพื่อป้องกันดินเค็มหรือลดความเป็นกรดเป็นด่าง การปลูกหญ้าแฝกเพื่อแก้ปัญหานี้จะปลูกเต็มพื้นดินที่จะดำเนินการ ลักษณะปลูกแบบดำนาข้าวใช้ระยะ ปลูกระหว่างต้น และระหว่างแถว ๕๐x๕๐ เซนติเมตร จะช่วยลดระดับน้ำใต้ดินที่เค็มหรือลดระดับน้ำใต้ดินที่จะ ไปละลายธาตุที่ทำให้ดินเป็นกรดเพิ่มขึ้น
- การปลูกหญ้าแฝกเพื่อบำบัดน้ำเสีย ปัจจุบันปัญหาน้ำเสียทำให้สภาพแม่น้ำ คูคลองต่างๆ ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ การปลูกหญ้าแฝกเพื่อบำบัดน้ำเสียทำได้ ๒ รูปแบบ คือ แบบพื้นที่ชุ่มน้ำ ได้แก่ ที่มีคันคูล้อมรอบ วิธีการปลูกจะปลูกเต็มพื้นที่ที่จะดำเนินการใช้ระยะระหว่างต้นและระหว่างแถว ๕๐x๕๐ เซนติเมตร เมื่อหญ้าแฝกเจริญเติบโตมีอายุ ๓-๔ เดือน จึงปล่อยน้ำเสียลงไปอย่าให้ล้นคันคู โดยมีน้ำท่วมขังสูง ๑๐-๑๕ เซนติเมตร เป็นเวลา ๕-๗ วัน จึงระบายน้ำออกและไขน้ำเสียเข้ามา บำบัดใหม่ หมุนวนไปตลอด และต้องตัดใบหญ้าแฝกทุก ๑-๒ เดือน นำใบที่ตัดไปทำปุ๋ยหมัก สายพันธุ์หญ้าแฝกที่เหมาะสม เป็นกลุ่มของสายพันธุ์หญ้าแฝกลุ่ม สายพันธุ์ที่เจริญเติบโตในน้ำเสียได้ดี เช่น สายพันธุ์ใหม่ห้วยหวาย ฟิจิ และอินโดนีเซีย น้ำเสียที่บำบัดได้ดี ได้แก่ น้ำเสียจากชุมชน และน้ำเสียจากการเลี้ยงปศุสัตว์ และอีกแบบโดยการปลูกบนแพและปล่อยให้รากของหญ้าแฝกเจริญเติบโตในน้ำ

รูปที่ ๒.๓.๒ การปลูกหญ้าแฝกเป็นแพลอยน้ำ

ที่มา: http://vetivernetinternational.blogspot.com/๒๐๑๐/๐๔/vetiver-system-and-pollution-control.html [๒๐๑๒, july, ๒๕]

ปัจจุบันพบว่าหญ้าแฝก มีลักษณะพิเศษหลายประการ เติบโตได้ทั้งในสภาพแห้งแล้ง และสภาพน้ำท่วมขัง (Dalton.P.A. et al., ๑๙๙๖; Xia,H. et al.,๒๐๐๐;Wantawin et al.,๒๐๐๗; Boonsong and Chansiri,๒๐๐๗) แฝกเป็นพืชที่ทนทานต่อความเป็นพิษของโลหะหนัก สามารถกำจัดโลหะหนัก เช่น As, Zn และ Cu (Chiu,K.K., ๒๐๐๕) โดย Thares and Sengsai (๒๐๐๓) ใช้หญ้าแฝกปลูกในพื้นที่ชุมน้ำเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมร้อยละ ๘๖.๓๐- ๘๙.๒๙ Chen et al. (๒๐๐๐) ศึกษาการดูดซับโลหะหนักโดยใช้หญ้าแฝก พบว่าในต้นหญ้าแฝกมีปริมาณการสะสมสังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) และแคดเมียม (Cd) ในปริมาณสูงคือร้อยละ ๔๒-๖๗

นอกจากนี้พบว่าหญ้าแฝกสามารถกำจัดสารประกอบพอลิไซคลิก แอโรมาทิก ไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbon, PAH) (Kong, X. et al.,๒๐๐๓) กำจัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันจากโรงกลั่นน้ำมัน (Xia,H. et al.,๒๐๐๓) และการปลูกหญ้าแฝกในลักษณะทุ่นไม้ไผ่ลอยน้ำเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในประเทศจีน ซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโลหะหนักสูง พบว่าหญ้าแฝกสามารถเจริญเติบโตได้ดี ลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้สูงถึงร้อยละ ๖๐ และ ๘๕ ตามลำดับ (Kong et al., ๒๐๐๓; Liao et al.,๒๐๐๓) หญ้าแฝกจึงเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยหญ้าแฝกสามารถดูดซับธาตุอาหารที่อยู่ในน้ำทิ้งไปใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น ดังนั้นการนำหญ้าแฝกมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าจะสามารถแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมก่อนปล่อยสู่ภายนอก

บทที่ ๓
วิธีการวิจัย

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลผลการวิจัยกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยธรรมชาติ โดยอาศัยพืชน้ำ ได้แก่ ตลอดจนหญ้าแฝกซึ่งพบว่าหญ้าแฝกสามารถเติบโตได้ทั้งในสภาพแห้งแล้ง และสภาพน้ำท่วมขัง ตลอดจนสารถนำมาใช้ปรับสภาพน้ำเสียให้เป็นน้ำสะอาด ดังที่ได้นำเสนอในบทที่ ๒ งานวิจัยนี้จึงได้นำหญ้าแฝกปลูกด้วยทุ่นให้ลอยน้ำเป็นระบบสวนพืชลอยน้ำ ซึ่งเป็นระบบที่มีขั้นตอนไม่ยุ่งยากซับซ้อน และมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและการเดินระบบต่ำ มาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

๓.๑ วัสดุและอุปกรณ์

๓.๑.๑ อุปกรณ์ทำแพหญ้าแฝก

(๑) เลื่อยตัดท่อ พีวีซี

(๒) ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑ นิ้ว

(๓) ข้องอพีวีซี ๙๐ องศา เส้นผ่าศูนย์กลาง ๑ นิ้ว

(๔) กาวทาท่อพีวีซี

(๕) ใยมะพร้าว

๓.๒.๒ เครื่องมือวิเคราะห์น้ำ

(๑) เครื่องวัดค่าพีเอช

(๒) เครื่องวัดค่าสภาพนำไฟฟ้า

(๓) เครื่องวัดค่าความขุ่น

(๔) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

(๕) อุปกรณ์วิเคราะห์ซีโอดี

(๖) อุปกรณ์วิเคราะห์บีโอดี

๓.๓.๓ วัสดุทางการเกษตร

(๑) ใยมะพร้าว

(๒) หญ้าแฝก

๓.๓.๔ สารเคมี

(๑) สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมตเข้มข้น ๐.๑ นอร์มัล (๐.๐๖๑๗ M)

(๒) กรดซัลฟิวริกและซิลเวอร์ซัลเฟต

(๓) สารละลายมาตรฐานเฟรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ๐.๐๕ นอร์มัล

(๔) สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์

(๕) สารละลายมาตรฐานวัดความขุ่น

(๖) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (๔๕%)

(๗) สารยับยั้งการเกิดไนตริฟิเคชั่น

๓.๓ วิธีทดลอง

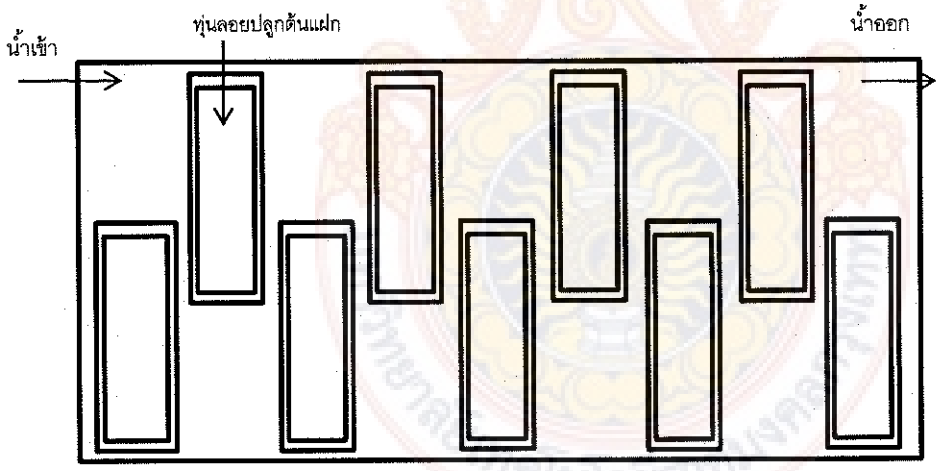
รูปแบบการทดลองเป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experiment research design) แบ่งการทดลองเป็น ๓ ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ ๑ เตรียมต้นกล้า

การเตรียมกล้าหญ้าแฝกแบบรากเปลือย โดยการแยกหน่อจากกอ ตัดใบ ให้ยาว ๒๐ เซนติเมตร ตัดรากให้สั้น วางบนขุยมะพร้าวที่ชื้น หรือแช่ในน้ำให้ท่วมรากจนกระทั่งรากงอกขึ้นมายาว ๑-๒ เซนติเมตร นานประมาณ ๕-๗ วัน จึงนำไปปลูก

ขั้นตอนที่ ๒ ออกแบบและเตรียมระบบบำบัดน้ำเสียแบบสวนพืชลอยน้ำ

บ่อบำบัดน้ำเสีย ขนาด ขนาด ๗๒.๓๖ ลูกบาศก์เมตร ออกแบบให้เป็นระบบบึงประดิษฐ์แบบสวนพืชลอยน้ำ โดยปลูกต้นแฝก ประกอบด้วยแพลอยน้ำ ทำจากท่อพีวีซี บรรจุใยมะพร้าว ปลูกต้น หญ้าแฝก ติดตั้งขวางทางเดินของน้ำเสียแสดงดังในรูปที่ ๓.๓.๑

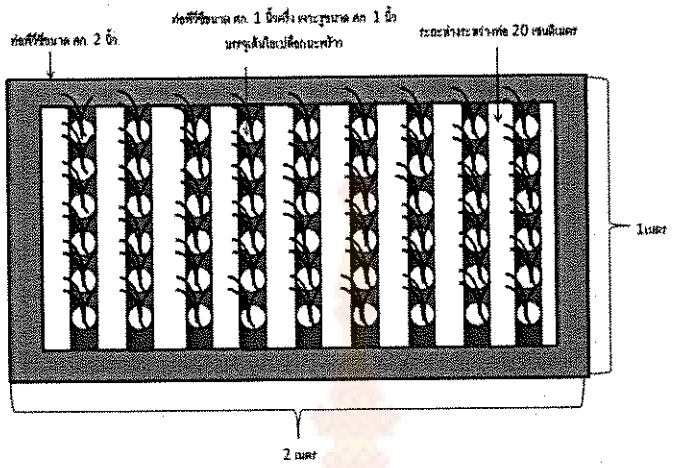


รูปที่ ๓.๓.๑ สวนแฝกลอยน้ำ

องค์ประกอบของระบบบำบัดสวนแฝกลอยน้ำ

- โครงสร้างของระบบบำบัดประกอบด้วยเสาทำจากท่อพีวีซี เพื่อใช้เป็นตัวยึดทุ่นลอยปลูกแฝก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ๑ นิ้ว
- ทุ่นลอยปลูกต้นแฝก ขนาดกว้าง x ยาว = ๑ x ๒ เมตร (รูปที่๒) จำนวน ๙ ทุ่น

- ต้นแฝก รากของพืชเป็นที่เกาะติดของจุลินทรีย์ (พืชสามารถให้ออกซิเจนกับน้ำเสียได้ โดยพืชน้ำมีความสามารถดึงออกซิเจนจากอากาศผ่านทาง ใบ หรือกาบใบลงสู่ระบบรากได้)
- จุลินทรีย์ เกาะติดอยู่กับรากพืช มีหน้าที่ลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ



รูปที่ ๓.๓.๒ โครงสร้างทุ่นลอยสำหรับปลูกต้นแฝก

ขั้นตอนที่ ๓ ศึกษาประสิทธิภาพของระบบสวนพืชลอยน้ำ

(๑) วิเคราะห์ลักษณะน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบ

(๒) วิเคราะห์ลักษณะน้ำทิ้งก่อนและหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบสวนแฝกลอยน้ำ โดยเก็บตัวอย่างน้ำอาทิตย์ละ ๑ ครั้ง เป็นเวลา ๓ เดือน วิเคราะห์ตามวิธีที่อธิบายไว้ใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Treatment (APHA, AWWA and EPCF,๒๐๐๕) โดยวิเคราะห์คุณภาพน้ำดังนี้ ค่าพีเอช ความขุ่น ค่าการดูดกลืนแสง ปริมาณของแข็งแขวนลอย ค่าซีโอดี และค่าบีโอดี

(๓) เปรียบเทียบลักษณะน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบสวนพืชลอยน้ำ กับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม

ขั้นตอนที่ ๔ การวิเคราะห์ข้อมูล

(๑) วิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพน้ำจากค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(๒) ทดสอบค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพน้ำด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (one - way analysis of variance) โดยการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับ ๐.๐๕ เมื่อพบว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่ากลางด้วยวิธีของเชฟเฟ่

๓.๔ สถานที่ทดลอง/เก็บข้อมูล

ปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียแบบสวนพืชลอยน้ำ บริเวณ โรงงานเจริญชัยการย้อม

ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ที่สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทที่ ๔

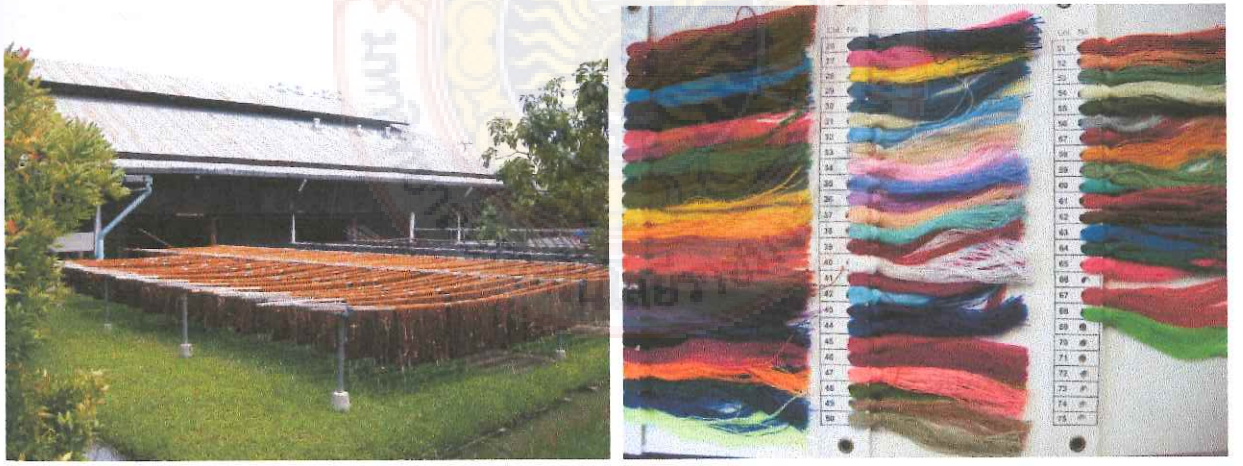
ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสวนพืชลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้น โดยการสร้างสวนพืชลอยน้ำ ในบ่อบำบัดน้ำเสีย ศึกษาลักษณะน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบสวนพืชลอยน้ำ

๔.๑ ลักษณะน้ำทิ้งของโรงงาน

โรงงานเจริญชัยการย้อมเป็นโรงงานฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก ด้วยสีเบสิก ภาพรวมและผลิตภัณฑ์ของโรงงานแสดงในรูปที่ ๔.๑.๑ และ ๔.๑.๒

รูปที่ ๔.๑.๑ ภาพรวมภายในโรงงานเจริญชัยการย้อม



รูปที่ ๔.๑.๒ ผลิตภัณฑ์จากโรงงานเจริญชัยการย้อม

เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เกิดจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิก ด้วยสีเบสิก จากโรงงานเจริญชัยการย้อม ลักษณะของน้ำเสียของโรงงาน แสดงในรูปที่ ๔.๑.๓ เก็บตัวอย่างน้ำเสียทุกสัปดาห์ เป็นจำนวน ๕ สัปดาห์

ได้ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางผนวกที่ ๓ก นำผลการวิเคราะห์มาหาค่าเฉลี่ยได้ผลดังแสดงในตารางที่ ๔.๑.๑

รูปที่ ๔.๑.๓ ลักษณะน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก

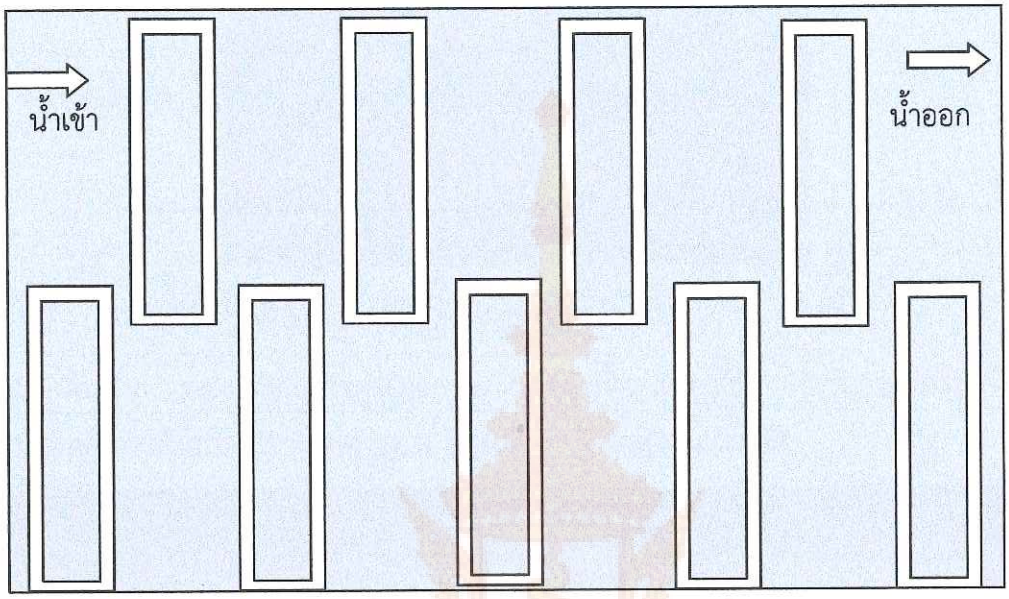
ตารางที่ ๔.๑.๑ ลักษณะน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้				ค่ามาตรฐาน
	max	min	$\overline{X}$	SD	
พีเอช (๒๕°C)	๖.๐๔	๕.๓๙	๕.๗๘	๐.๒๖	๕.๕-๙.๐
ความขุ่น (NTU)	๓๑.๐๔	๒๒.๔๙	๒๗.๑๖	๒.๙๐	-
ค่าการดูดกลืนแสง (ที่λ_{max} ๕๒๖ nm)	๐.๓๕๒	๐.๔๗๒	๐.๓๙๐	๐.๐๔๐	
ของแข็งแขวนลอย (mg/L)	๖๕.๓๓	๔๔.๐๐	๕๕.๖๗	๕.๗๒	<๕๐.๐๐
ซีโอดี (mg/L)	๒๒๓.๔๒	๘๔.๗๑	๑๕๐.๑๓	๓๙.๐๖	<๑๒๐.๐๐
บีโอดี (mg/L)	๓๔๓.๖๗	๒๙๗.๐๐	๓๑๗.๐๐	๑๖.๗๓	<๒๐.๐๐

จากการวิเคราะห์พบว่าน้ำเสียที่เกิดจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก มีค่าซีโอดี ค่าบีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอย สูงเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ซึ่งต้องมีการบำบัดน้ำเสียให้มีสมบัติที่ดีก่อนที่จะนำไปใช้ใหม่ หรือปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

๔.๒ ออกแบบและเตรียมระบบบำบัดน้ำเสียแบบสวนพืชลอยน้ำ

บ่อบำบัดน้ำเสีย ขนาด ๗๒.๓๖ ลูกบาศก์เมตร ออกแบบให้เป็นระบบบึงประดิษฐ์แบบสวนพืชลอยน้ำ โดยปลูกต้นแฝก ประกอบด้วยทุ่นลอยน้ำ ทำจากท่อพีวีซี บรรจุใยมะพร้าว ปลูกต้นหญ้าแฝก ติดตั้งขวางทางเดินของน้ำเสียแสดงในรูปที่ ๔.๒.๑



รูปที่ ๔.๒.๑ รูปแบบการติดตั้งทุ่นแฝกลอยน้ำ

องค์ประกอบของระบบบำบัดสวนแฝกลอยน้ำ

(๑) โครงสร้างของระบบบำบัดประกอบด้วยเสาทำจากท่อพีวีซี เพื่อใช้เป็นตัวยึดทุ่นลอยปลูกแฝก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ๑ นิ้ว แสดงในรูปที่ ๔.๒.๒

รูปที่ ๔.๒.๒ ตัวยึดทุ่นลอยสำหรับปลูกต้นแฝก

(๒) ทุ่นลอยปลูกต้นแฝก ขนาดกว้าง x ยาว = ๑ x ๒ เมตร จำนวน ๙ ทุ่น

รูปที่ ๔.๒.๓ ทุ่นลอยสำหรับปลูกต้นแฝก

(๓) ต้นแฝก รากของพืชเป็นที่เกาะติดของจุลินทรีย์ (พืชสามารถให้ออกซิเจนกับน้ำเสียได้ โดยพืชน้ำมีความสามารถดึงออกซิเจนจากอากาศผ่านทาง ใบ หรือกาบใบลงสู่ระบบรากได้)

รูปที่ ๔.๒.๔ แพต้นแฝก

รูปที่ ๔.๒.๕ แพต้นแฝกในบ่อบำบัดน้ำเสีย

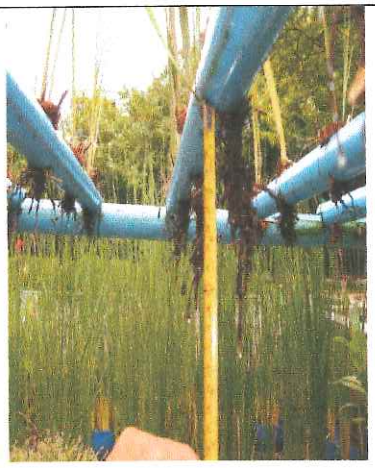
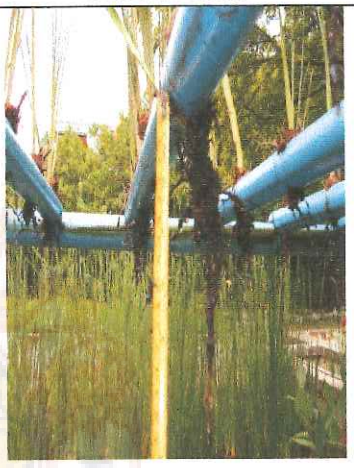
๔.๓ ศึกษาการเติบโตของหญ้าแฝก

วัดความยาวของลำต้นและรากหญ้าแฝกก่อนนำไปบำบัดน้ำเสีย เริ่มต้นหญ้าแฝกมีความสูงเฉลี่ย ๒๐ ± ๒.๙๗ เซนติเมตร รากมีความยาวเฉลี่ย ๕.๔๕ ± ๐.๕๖ เซนติเมตร และหลังจากนำไปบำบัดน้ำเสียแล้ววัดการเจริญเติบโตทุกสัปดาห์ วัดครั้งละ ๕ ต้น ได้ผลการเจริญเติบโตของรากและต้นแสดงในภาคผนวกที่ ๑ก - ๒ก และตารางที่ ๔.๓.๑

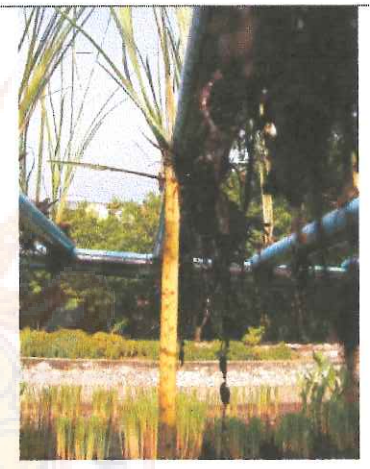
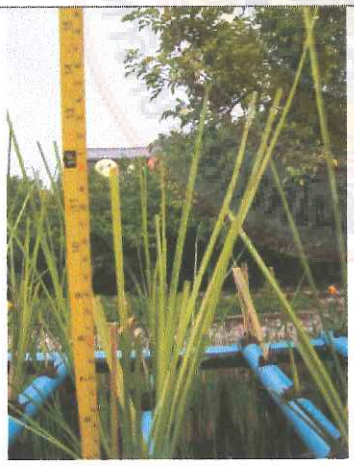
ตารางที่ ๔.๓.๑ ค่าเฉลี่ยความยาวของลำต้น และรากหญ้าแฝก ในระบบบำบัดน้ำเสีย

อายุของหญ้าแฝก	ความยาวเฉลี่ยของลำต้น (cm)	ความยาวเฉลี่ยของราก (cm)
อาทิตย์ที่ ๑	๒๙.๔±๓.๕๘	๖.๑๘±๐.๗๕
อาทิตย์ที่ ๒	๔๓.๘๒±๓.๓๕	๘.๐๒±๐.๘๗

ตารางที่ ๔.๓.๑ ค่าเฉลี่ยความยาวของลำต้น และรากหญ้าแฝก ในระบบบำบัดน้ำเสีย (ต่อ)

อายุของหญ้าแฝก	ความยาวเฉลี่ยของลำต้น (cm)	ความยาวเฉลี่ยของราก (cm)
อาทิตย์ที่ ๓	๕๕.๓๒±๓.๖๙	 ๑๒.๔๔±๐.๔๔
อาทิตย์ที่ ๔ เริ่มมีต้นอ่อนแตกหน่อเพิ่มขึ้น	๖๕.๐๖±๔.๕๖	 ๑๖.๕๐±๐.๕๐
อาทิตย์ที่ ๕	๗๖.๕๔±๔.๑๓	๑๘.๖๔±๐.๔๒

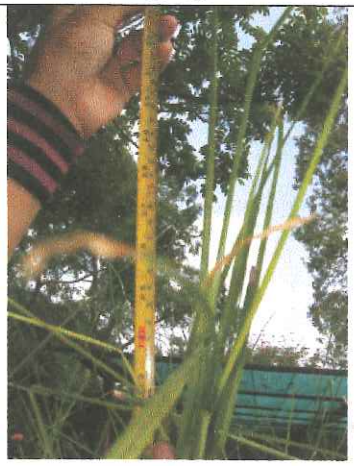
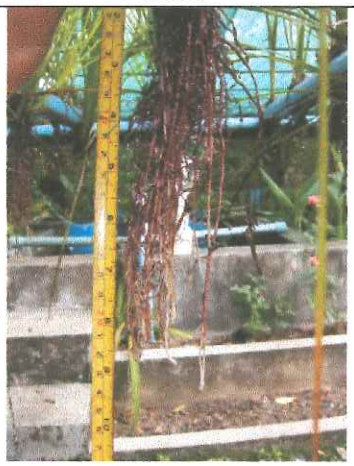
ตารางที่ ๔.๓.๑ ค่าเฉลี่ยความยาวของลำต้น และรากหญ้าแฝก ในระบบบำบัดน้ำเสีย (ต่อ)

อายุของหญ้าแฝก	ความยาวเฉลี่ยของลำต้น (cm)	ความยาวเฉลี่ยของราก (cm)
อาทิตย์ที่ ๖	๙๖.๗๖±๖.๕๐	๑๙.๙๖±๐.๖๖
อาทิตย์ที่ ๗	๑๐๗.๙๔±๒.๓๘	 ๒๑.๐๖±๐.๗๖
อาทิตย์ที่ ๘	 ๑๑๕.๓๖±๕.๐๓	๒๒.๐๘±๐.๔๑

ตารางที่ ๔.๓.๑ ค่าเฉลี่ยความยาวของลำต้น และรากหญ้าแฝก ในระบบบำบัดน้ำเสีย (ต่อ)

อายุของหญ้าแฝก	ความยาวเฉลี่ยของลำต้น (cm)	ความยาวเฉลี่ยของราก (cm)
อาทิตย์ที่ ๙	๑๒๒.๘๐±๔.๐๙	๒๒.๔๘±๐.๕๐
อาทิตย์ที่ ๑๐	๑๒๘.๘๔±๒.๓๐	๒๓.๒๐±๐.๕๔
อาทิตย์ที่ ๑๑	๑๓๑.๔๒±๒.๕๔	๒๓.๗๔±๐.๔๙

ตารางที่ ๔.๓.๑ ค่าเฉลี่ยความยาวของลำต้น และรากหญ้าแฝก ในระบบบำบัดน้ำเสีย (ต่อ)

อายุของหญ้าแฝก	ความยาวเฉลี่ยของลำต้น (cm)	ความยาวเฉลี่ยของราก (cm)
อาทิตย์ที่ ๑๒		
	๑๓๔.๐๐±๒.๔๘	๒๔.๖๒±๐.๖๓

รูปที่ ๔.๓.๑ รากและลำต้นหญ้าแฝกอายุ ๓ เดือน

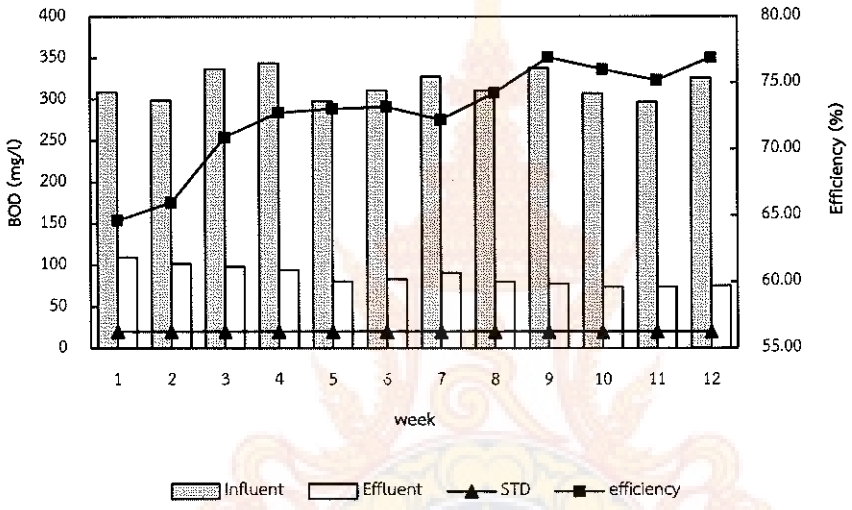
ผลการทดลองจากตารางที่ ๔.๓.๑ และรูปที่ ๔.๓.๑ พบว่าหญ้าแฝกเจริญเติบโตได้ดีในน้ำเสียจากการฟอกย้อม โดยใน ๑๒ อาทิตย์ ความสูงเฉลี่ยของลำต้นเพิ่มจาก ๒๐.๐ เซนติเมตร เป็น ๑๓๔.๐ เซนติเมตร ความยาวเฉลี่ยของราก เพิ่มจาก ๕.๔๕ เซนติเมตร เป็น ๒๔.๖๒ เซนติเมตร

ใน ๑ ทุ่นลอย มีแฝก ๙ แถว แต่ละแถวมีหลุ่มปลูกหญ้าแฝก ๕ หลุม รวมเป็น ๔๕ หลุม พบอัตราการตาย ในแต่ละทุ่น ๒ ต้นต่อหลุม คิดเป็นอัตราการตายร้อยละ ๔.๕ อัตราการอยู่รอดร้อยละ ๙๕.๕

๔.๔ วิเคราะห์ลักษณะน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบสวนแฝกลอยน้ำ

๔.๔.๔ ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีด้วยระบบสวนแฝกลอยน้ำ

ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีของน้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก ที่บำบัดด้วยระบบสวนแฝกลอยน้ำ โดยเก็บน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการบำบัดด้วยแพหญ้าแฝกทุกสัปดาห์ เป็นเวลา ๓ เดือน ได้ผลการทดลองแสดงในตารางผนวกที่ ๔ก และรูปที่ ๔.๔.๑ ผลการตรวจวัดค่าบีโอดีของน้ำก่อนเข้าระบบบำบัดด้วยสวนแฝกลอยน้ำมีค่าบีโอดีระหว่าง ๒๙๗.๐๐-๓๔๓.๖๗ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๓๑๗ ± ๑๖.๗๓ มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าบีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าบีโอดีระหว่าง ๗๓.๖๗-๑๐๙.๓๓ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๘๖.๕๐ ± ๑๑.๙๕ มิลลิกรัมต่อลิตร นำค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีมาวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ ๐.๐๕ เพื่อทดสอบว่าระยะเวลาในการปลูกแฝก มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี หรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในตารางที่ ๔.๔.๑



รูปที่ ๔.๔.๑ อายุของหญ้าแฝกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของน้ำเสีย

ตารางที่ ๔.๔.๑ การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีที่อายุหญ้าแฝกต่างกัน

อายุของหญ้าแฝก (สัปดาห์)	N	ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี (ร้อยละ)		
		mean	SD	P
๑	๓	๖๔.๖๑	๑.๑๕	<๐.๐๐๑*
๒	๓	๖๕.๙๖	๒.๔๗	
๓	๓	๗๐.๘๙	๐.๖๖	
๔	๓	๗๒.๗๕	๐.๖๒	
๕	๓	๗๓.๐๔	๐.๖๙	
๖	๓	๗๓.๒๑	๑.๐๒	
๗	๓	๗๒.๒๓	๑.๐๓	
๘	๓	๗๔.๒๔	๐.๒๓	
๙	๓	๗๖.๙๔	๐.๗๑	
๑๐	๓	๗๖.๐๓	๐.๓๑	
๑๑	๓	๗๕.๒๐	๐.๗๑	
๑๒	๓	๗๖.๘๙	๐.๔๖	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ๐.๐๕ (P<๐.๐๕)

จากตารางที่ ๔.๔.๑ ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ ๐.๐๕ พบว่าอายุของหญ้าแฝกมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ (multiple comparison test) แบบเทอคี (Tukey) ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ ๑ข พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีของน้ำเสียที่บำบัดด้วยสวนแฝกลอยน้ำ แบ่งออกเป็น ๓ ระยะ โดยแต่ละระยะจะมีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ระยะแรกเป็นช่วงของการปลูกแฝกได้ ๒ สัปดาห์ ซึ่งสัปดาห์ที่ ๑ และสัปดาห์ที่ ๒ มีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีไม่แตกต่างกัน

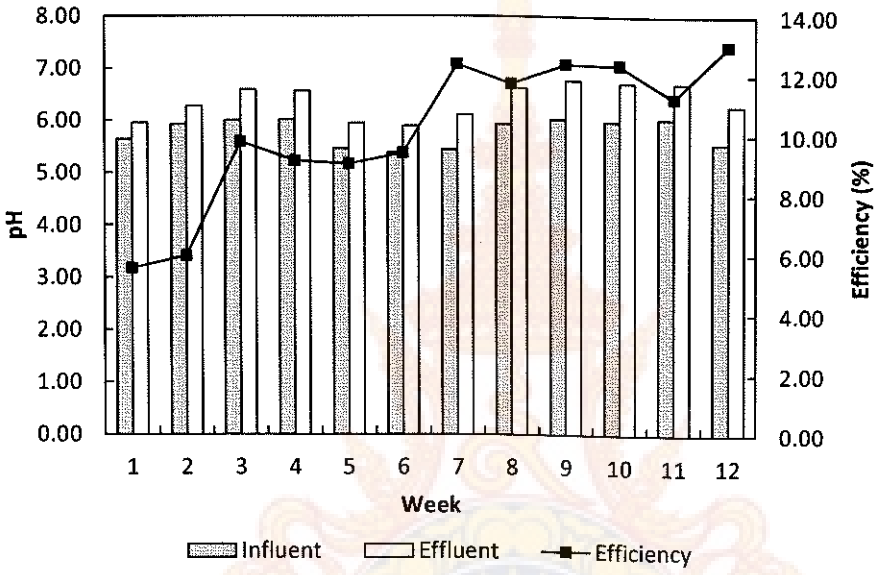
ระยะที่สองเป็นช่วงของการปลูกแฝกได้ ๓-๗ สัปดาห์ ซึ่งสัปดาห์ที่ ๓, ๔, ๕ ,๖, ๗ มีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีไม่แตกต่างกัน โดยระยะที่สองจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงกว่าระยะแรก

ระยะที่สามเป็นช่วงของการปลูกแฝกได้ ๘-๑๒ สัปดาห์ ซึ่งสัปดาห์ที่ ๘, ๙, ๑๐, ๑๑, ๑๒ มีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีไม่แตกต่างกัน และระยะที่สามจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงกว่าระยะแรกและระยะที่สอง

ผลการทดลองสรุปได้ว่าระบบสวนแฝกลอยน้ำ ช่วยลดค่าบีโอดีของน้ำเสียจากการฟอกย้อมได้ประมาณร้อยละ ๗๔-๗๗ โดยอายุของหญ้าแฝกมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีอย่างมีนัยสำคัญ (P<๐.๐๕) ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงขึ้น เมื่อแฝกมีอายุมากขึ้น และเมื่อแฝกอายุ ๓ เดือน จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงที่สุด กล่าวคือสามารถลดค่าบีโอดีของน้ำเสียได้ร้อยละ ๗๗ แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่าน้ำทิ้งที่ออกจากระบบสวนแฝกลอยน้ำยังมีค่าบีโอดีสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

๔.๔.๕ ประสิทธิภาพในการปรับสภาพพีเอชของน้ำเสียด้วยระบบสวนแฝกลอยน้ำ

ศึกษาประสิทธิภาพในการปรับสภาพพีเอชของน้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก ที่บำบัดด้วยระบบสวนแฝกลอยน้ำ โดยเก็บน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการบำบัดด้วยแพหญ้าแฝกทุกสัปดาห์ เป็นเวลา ๓ เดือน ได้ผลการทดลองแสดงในตารางผนวกที่ ๕ก และรูปที่ ๔.๔.๒ ผลการตรวจวัดค่าพีเอชของน้ำก่อนเข้าระบบบำบัดด้วยสวนแฝกลอยน้ำมีค่าพีเอชระหว่าง ๕.๓๙-๖.๐๔ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๕.๗๘ ± ๐.๒๖ ส่วนค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าพีเอชระหว่าง ๕.๘๙-๖.๗๗ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๖.๓๗ ± ๐.๓๓ นำค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในปรับสภาพพีเอชมาวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ ๐.๐๕ เพื่อทดสอบว่าระยะเวลาในการปลูกแฝก มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการปรับสภาพพีเอชของน้ำเสีย หรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในตารางที่ ๔.๔.๒



รูปที่ ๔.๔.๒ อายุของหญ้าแฝกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการปรับสภาพพีเอชของน้ำเสีย

ตารางที่ ๔.๔.๒ การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการปรับสภาพพีเอชที่อายุของปลูกหญ้าแฝกต่างกัน

อายุของหญ้าแฝก (สัปดาห์)	N	ประสิทธิภาพการปรับสภาพพีเอช (ร้อยละ)		
		mean	SD	P
๑	๓	๕.๖๐	๓.๑๖	<๐.๐๐๑*
๒	๓	๕.๙๗	๑.๐๘	
๓	๓	๙.๗๘	๐.๒๒	
๔	๓	๙.๑๕	๐.๖๑	
๕	๓	๙.๐๔	๐.๑๖	
๖	๓	๙.๔๒	๒.๖๙	
๗	๓	๑๒.๔๑	๓.๑๓	
๘	๓	๑๑.๗๗	๑.๙๘	
๙	๓	๑๒.๔๐	๐.๘๒	
๑๐	๓	๑๒.๓๖	๑.๑๑	
๑๑	๓	๑๑.๒๖	๑.๒๔	
๑๒	๓	๑๒.๘๙	๐.๙๒	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ๐.๐๕ (P<๐.๐๕)

จากตารางที่ ๔.๔.๒ ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ ๐.๐๕ พบว่าอายุของหญ้าแฝกมีผลต่อประสิทธิภาพการปรับสภาพพีเอชของน้ำเสีย และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ (multiple comparison test) แบบเทอคี (Tukey) ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ ๒ข พบว่า ประสิทธิภาพในการปรับสภาพพีเอชของน้ำเสียที่บำบัดด้วยสวนแฝกลอยน้ำ แบ่งออกเป็น ๒ ระยะ โดยทั้งสองระยะมีประสิทธิภาพในการปรับสภาพพีเอชของน้ำเสียเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

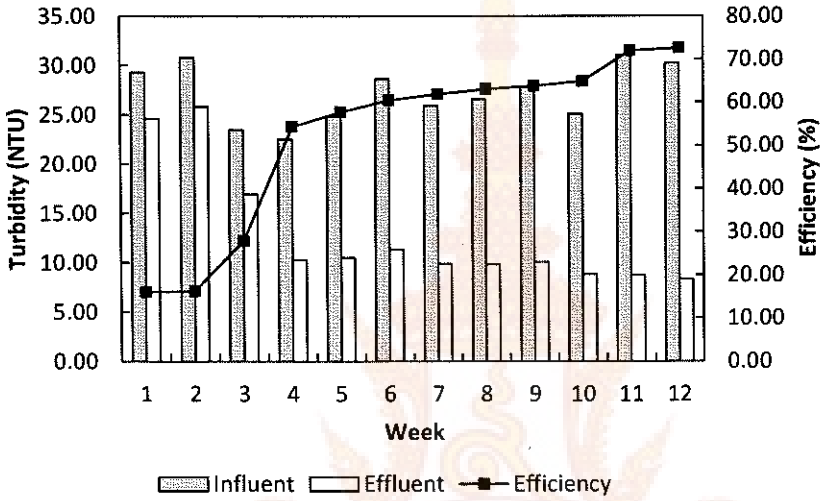
ระยะแรกเป็นช่วงของการปลูกแฝกได้ ๒ สัปดาห์ ซึ่งสัปดาห์ที่ ๑ และสัปดาห์ที่ ๒ มีประสิทธิภาพการปรับสภาพพีเอชไม่แตกต่างกัน

ระยะที่สองเป็นช่วงของการปลูกแฝกได้ ๓-๑๒ สัปดาห์ ซึ่งตั้งแต่สัปดาห์ที่ ๓ จนถึงสัปดาห์ที่ ๑๒ มีประสิทธิภาพการปรับสภาพพีเอชไม่แตกต่างกัน และมีประสิทธิภาพสูงกว่าระยะแรก

ผลการทดลองสรุปได้ว่าระบบสวนแฝกลอยน้ำ ช่วยปรับสภาพพีเอชของน้ำเสียจากการฟอกย้อมได้ประมาณร้อยละ ๑๐-๑๓ อายุของหญ้าแฝกมีผลต่อประสิทธิภาพการปรับปสภาพพีเอชอย่างมีนัยสำคัญ (P<๐.๐๕) ประสิทธิภาพในการปรับสภาพพีเอชสูงขึ้น เมื่อแฝกมีอายุมากขึ้น โดยแฝกจะสามารถปรับสภาพพีเอชของน้ำเสียได้เมื่อแฝกมีอายุ ๓ สัปดาห์ขึ้นไป และเมื่อแฝกอายุ ๓ เดือน จะมีประสิทธิภาพในการปรับสภาพพีเอชสูงที่สุด กล่าวคือสามารถเพิ่มค่าพีเอชของน้ำเสียได้ร้อยละ ๖.๘

๔.๔.๓ ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของน้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบสวนแฝกลอยน้ำ

ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของน้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก ที่บำบัดด้วยระบบสวนแฝกลอยน้ำ โดยเก็บน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการบำบัดด้วยแพหญ้าแฝกทุกสัปดาห์ เป็นเวลา ๓ เดือน ได้ผลการทดลองแสดงในตารางผนวกที่ ๖ก และรูปที่ ๔.๔.๓ ผลการตรวจวัดค่าความขุ่นของน้ำก่อนเข้าระบบบำบัดด้วยสวนแฝกลอยน้ำมีค่าความขุ่นระหว่าง ๒๒.๔๙-๓๑.๐๔ เอ็นทียู มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๒๗.๑๖ ± ๒.๙ เอ็นทียู ส่วนค่าความขุ่น ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าความขุ่นระหว่าง ๘.๓๑-๒๕.๘ เอ็นทียู มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๑๒.๙๑ ± ๖.๑๕ เอ็นทียู นำค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมาวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ ๐.๐๕ เพื่อทดสอบว่าระยะเวลาในการปลูกแฝก มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น หรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในตารางที่ ๔.๔.๓



รูปที่ ๔.๔.๓ อายุของหญ้าแฝกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการลดค่าความขุ่นของน้ำเสีย

ตารางที่ ๔.๔.๓ การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่อายุของหญ้าแฝกต่างกัน

อายุของหญ้าแฝก (สัปดาห์)	N	ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (ร้อยละ)		
		mean	SD	P
๑	๓	๑๕.๙๖	๑.๖๕	<๐.๐๐๑*
๒	๓	๑๖.๑๘	๑.๒๖	
๓	๓	๒๗.๘๕	๐.๕๕	
๔	๓	๕๔.๓๑	๐.๑๓	
๕	๓	๕๗.๗๒	๐.๒๓	
๖	๓	๖๐.๔๖	๐.๒๓	
๗	๓	๖๑.๘๙	๐.๐๖	
๘	๓	๖๓.๐๕	๐.๐๕	
๙	๓	๖๓.๗๘	๐.๐๖	
๑๐	๓	๖๔.๘๒	๐.๒๖	
๑๑	๓	๗๑.๙๓	๐.๐๖	
๑๒	๓	๗๒.๕๑	๐.๐๙	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ๐.๐๕ (P<๐.๐๕)

จากตารางที่ ๔.๔.๓ ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ ๐.๐๕ พบว่าระยะเวลาในการปลูกหญ้าแฝกมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ (multiple comparison test) แบบเทอคี (Tukey) ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ ๓ข พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของน้ำเสียที่บำบัดด้วยสวนแฝกลอยน้ำ แบ่งออกเป็น ๔ ระยะ โดยแต่ละระยะจะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ระยะแรกเป็นช่วงของการปลูกแฝกได้ ๒ สัปดาห์ ซึ่งสัปดาห์ที่ ๑ และสัปดาห์ที่ ๒ มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นไม่แตกต่างกัน

ระยะที่สองเป็นช่วงของการปลูกแฝกได้ ๓ สัปดาห์ โดยระยะที่สองจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงกว่าระยะแรกอย่างมีนัยสำคัญ

ระยะที่สามเป็นช่วงของการปลูกแฝกได้ ๔-๑๐ สัปดาห์ โดยระยะที่สามจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงกว่าระยะแรกและระยะที่สองอย่างมีนัยสำคัญ

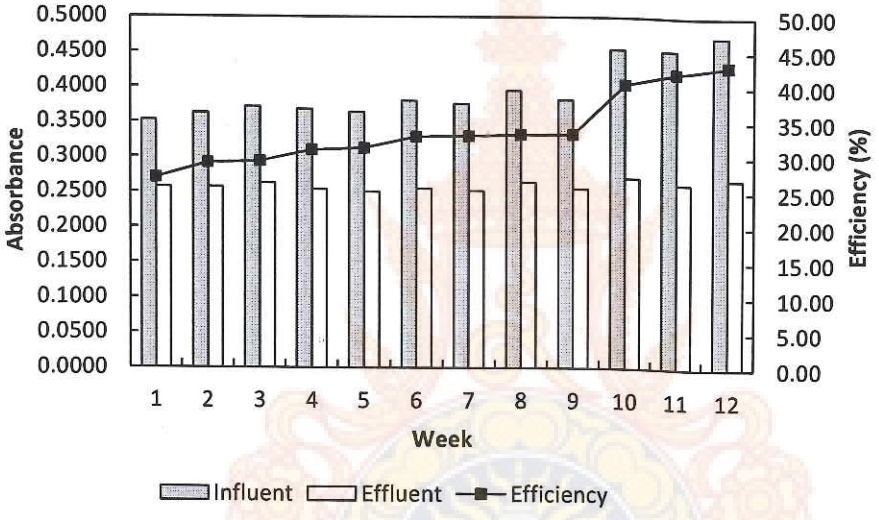
ระยะที่สี่เป็นช่วงของการปลูกแฝกได้ ๑๑-๑๒ สัปดาห์ ซึ่งสัปดาห์ที่ ๑๑ และสัปดาห์ที่๑๒ มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นไม่แตกต่างกัน โดยระยะที่สี่จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงกว่าระยะแรก ระยะที่สอง และระยะที่สาม อย่างมีนัยสำคัญ

ผลการทดลองสรุปได้ว่าระบบสวนแฝกลอยน้ำ ช่วยลดค่าความขุ่นของน้ำเสียจากการฟอกย้อมได้ประมาณร้อยละ ๕๔ - ๗๓ อายุของหญ้าแฝกมีผลต่อประสิทธิภาพการลดค่าความขุ่นอย่างมีนัยสำคัญ (P<๐.๐๕) ประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นสูงขึ้น เมื่อแฝกมีอายุมากขึ้น โดยแฝกจะช่วยลดค่าความขุ่นลงได้

มากกว่าร้อยละ ๕๔ ของน้ำเสียได้เมื่อแฝกมีอายุ ๑ เดือนขึ้นไป และเมื่อแฝกอายุ ๓ เดือน จะมีประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นสูงที่สุดกล่าวคือสามารถลดค่าความขุ่นลงได้ร้อยละ ๗๓

๔.๔.๔ ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบสวนแฝกลอยน้ำ

ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก ที่บำบัดด้วยระบบสวนแฝกลอยน้ำ โดยเก็บน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการบำบัดด้วยแพหญ้าแฝกทุกสัปดาห์ เป็นเวลา ๓ เดือน ได้ผลการทดลองแสดงในตารางผนวกที่ ๗ก และรูปที่ ๔.๔.๔ ผลการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำก่อนเข้าระบบบำบัดด้วยสวนแฝกลอยน้ำมีค่าการดูดกลืนแสงระหว่าง ๐.๓๕๒-๐.๔๗๒ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๐.๓๙ ± ๐.๐๔ ส่วนค่าการดูดกลืนแสง ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าการดูดกลืนแสง ระหว่าง ๐.๒๕-๐.๒๗๑ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๐.๒๕๙๑ ± ๐.๐๖๖ นำค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีมาวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ ๐.๐๕ เพื่อทดสอบว่าระยะเวลาในการปลูกแฝก มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสี หรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในตารางที่ ๔.๔.๔



รูปที่ ๔.๔.๔ อายุของหญ้าแฝกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำเสีย

ตารางที่ ๔.๔.๔ การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดสีที่อายุของหญ้าแฝกต่างกัน

อายุของหญ้าแฝก (สัปดาห์)	N	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (ร้อยละ)		
		mean	SD	P
๑	๓	๒๖.๙๙	๐.๘๕	<๐.๐๐๑*
๒	๓	๒๙.๑๔	๐.๓๓	
๓	๓	๒๙.๓๕	๐.๗๓	
๔	๓	๓๐.๙๘	๐.๒๙	
๕	๓	๓๑.๒๕	๐.๘๗	
๖	๓	๓๒.๘๙	๐.๓๒	
๗	๓	๓๒.๙๗	๑.๒๑	
๘	๓	๓๓.๑๙	๐.๕๙	
๙	๓	๓๓.๒๔	๐.๓๑	
๑๐	๓	๔๐.๔๒	๐.๗๓	
๑๑	๓	๔๒.๐๒	๐.๓๗	
๑๒	๓	๔๓.๐๕	๐.๔๖	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ๐.๐๕ (P<๐.๐๕)

จากตารางที่ ๔.๔.๔ ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ ๐.๐๕ พบว่าอายุของหญ้าแฝกมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำเสีย และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ (multiple comparison test) แบบเทอคี (Tukey) ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ ๔ข พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสียที่บำบัดด้วยสวนแฝกลอยน้ำ แบ่งออกเป็น ๒ ระยะ โดยทั้งสองระยะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสียเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

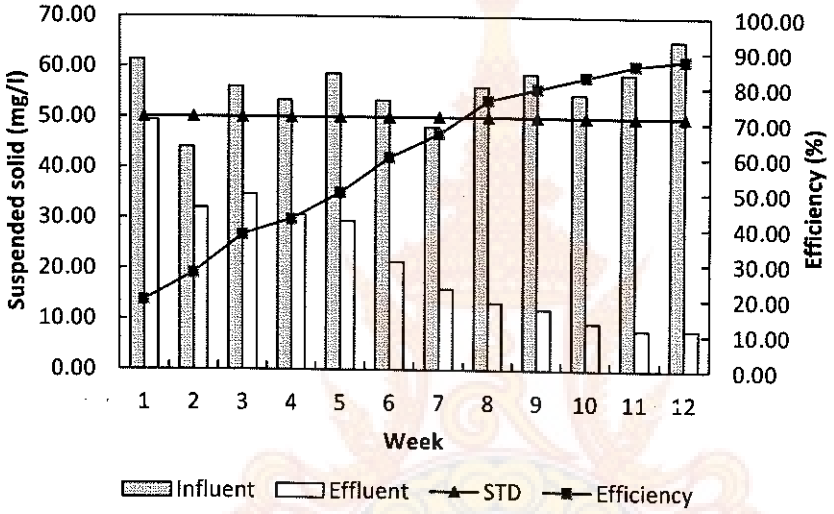
ระยะแรกเป็นช่วงของการปลูกแฝกได้ ๒ สัปดาห์ ซึ่งสัปดาห์ที่ ๑ และสัปดาห์ที่ ๒ มีประสิทธิภาพการกำจัดสีไม่แตกต่างกัน

ระยะที่สองเป็นช่วงของการปลูกแฝกได้ ๓-๑๒ สัปดาห์ ซึ่งตั้งแต่สัปดาห์ที่ ๓ จนถึงสัปดาห์ที่ ๑๒ มีประสิทธิภาพการกำจัดสีไม่แตกต่างกัน และมีประสิทธิภาพสูงกว่าระยะแรก

ผลการทดลองสรุปได้ว่าระบบสวนแฝกลอยน้ำ ช่วยกำจัดสีของน้ำเสียจากการฟอกย้อมได้ ประมาณร้อยละ ๓๐-๔๓ อายุของหญ้าแฝกมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีอย่างมีนัยสำคัญ (P<๐.๐๕) ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงขึ้น เมื่อแฝกมีอายุมากขึ้น โดยแฝกจะสามารถกำจัดสีของน้ำเสียได้ร้อยละ ๔๐ เมื่อแฝกมีอายุ ๒ เดือนครึ่ง และเมื่อแฝกอายุ ๓ เดือน จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงที่สุด กล่าวคือสามารถกำจัดสีของน้ำเสียได้ร้อยละ ๔๓

๔.๔.๕ ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบสวนแฝกลอยน้ำ

ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก ที่บำบัดด้วยระบบสวนแฝกลอยน้ำ โดยเก็บน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการบำบัดด้วยแพหญ้าแฝกทุกสัปดาห์ เป็นเวลา ๓ เดือน ได้ผลการทดลองแสดงในตารางผนวกที่ ๘ก และรูปที่ ๔.๔.๕ ผลการตรวจวัดค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำก่อนเข้าระบบบำบัดด้วยสวนแฝกลอยน้ำมีค่าของแข็งแขวนลอยระหว่าง ๔๔-๖๕.๓๓ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๕๕.๖๗ ± ๕.๗๒ มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าของแข็งแขวนลอย ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าของแข็งแขวนลอยระหว่าง ๘-๔๙.๓๓ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๒๑.๙๙ ± ๑๓.๑๔ มิลลิกรัมต่อลิตร นำค่าเฉลี่ยนำประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยมาวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ ๐.๐๕ เพื่อทดสอบว่าระยะเวลาในการปลูกแฝก มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย หรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในตารางที่ ๔.๔.๕



รูปที่ ๔.๔.๕ อายุของหญ้าแฝกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของน้ำเสีย

ตารางที่ ๔.๔.๕ การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่อายุของหญ้าแฝกต่างกัน

อายุของหญ้าแฝก (สัปดาห์)	N	ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย (ร้อยละ)		
		mean	SD	P
๑	๓	๑๙.๓๐	๑๐.๓๕	<๐.๐๐๑*
๒	๓	๒๓.๕๓	๑๒.๑๑	
๓	๓	๓๗.๗๒	๘.๑๔	
๔	๓	๔๒.๔๙	๓.๘๖	
๕	๓	๕๐.๐๐	๓.๓๓	
๖	๓	๕๙.๑๙	๑๕.๒๓	
๗	๓	๖๙.๒๙	๕.๖๘	
๘	๓	๗๕.๘๐	๖.๐๙	
๙	๓	๗๙.๕๓	๐.๘๓	
๑๐	๓	๘๕.๓๕	๐.๖๓	
๑๑	๓	๘๖.๓๕	๐.๕๕	
๑๒	๓	๘๗.๔๖	๒.๒๕	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ๐.๐๕ (P<๐.๐๕)

จากตารางที่ ๔.๔.๕ ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ ๐.๐๕ พบว่าระยะเวลาในการปลูกหญ้าแฝกมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ (multiple comparison test) แบบเทอคี (Tukey) ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ ๕ข พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่บำบัดด้วยสวนแฝกลอยน้ำ แบ่งออกเป็น ๓ ระยะ โดยแต่ละระยะจะมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ระยะแรกเป็นช่วงของการปลูกแฝกได้ ๓ สัปดาห์ ซึ่งสัปดาห์ที่ ๑ -๓ มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยไม่แตกต่างกัน

ระยะที่สองเป็นช่วงของการปลูกแฝกได้ ๔-๖ สัปดาห์ ซึ่งสัปดาห์ที่ ๔, ๕ ,๖ มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยไม่แตกต่างกัน โดยระยะที่สองจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงกว่าระยะแรก

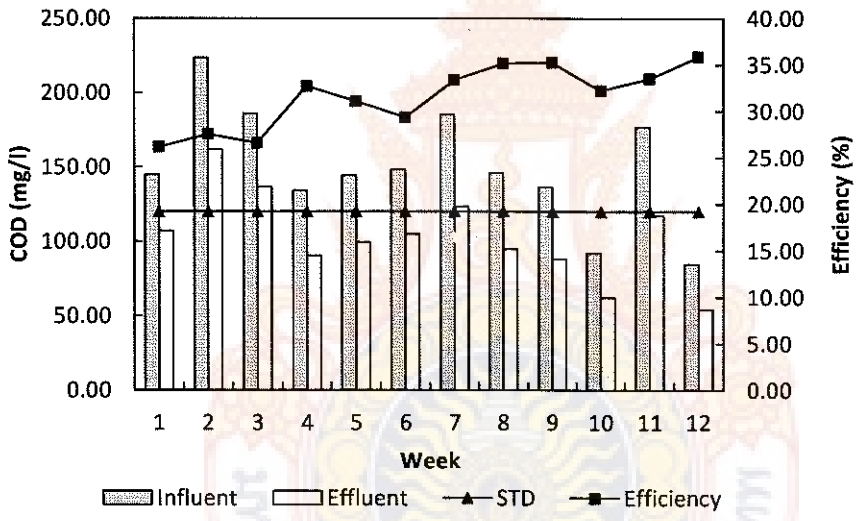
ระยะที่สามเป็นช่วงของการปลูกแฝกได้ ๗-๑๒ สัปดาห์ ซึ่งสัปดาห์ที่ ๗, ๘, ๙, ๑๐, ๑๑, ๑๒ มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยไม่แตกต่างกัน และระยะที่สามจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงกว่าระยะแรกและระยะที่สอง

ผลการทดลองสรุปได้ว่าระบบสวนแฝกลอยน้ำ ช่วยกำจัดของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียจากการฟอกย้อมได้ ประมาณร้อยละ ๗๐-๘๘ อายุของหญ้าแฝกมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียอย่างมีนัยสำคัญ (P<๐.๐๕) ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียสูงขึ้น เมื่อแฝกมีอายุ

มากขึ้น โดยแฝกจะสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียของน้ำเสียได้ร้อยละ ๗๖ เมื่อแฝกมีอายุ ๒ เดือน และเมื่อแฝกอายุ ๓ เดือน จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงที่สุด กล่าวคือสามารถกำจัดสีของน้ำเสียได้ร้อยละ ๘๘

๔.๔.๖ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบสวนแฝกลอยน้ำ

ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก ที่บำบัดด้วยระบบสวนแฝกลอยน้ำ โดยเก็บน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการบำบัดด้วยแพหญ้าแฝกทุกสัปดาห์ เป็นเวลา ๓ เดือน ได้ผลการทดลองแสดงในตารางผนวกที่ ๙ก และรูปที่ ๔.๔.๖ ผลการตรวจวัดค่าซีโอดีของน้ำก่อนเข้าระบบบำบัดด้วยสวนแฝกลอยน้ำมีค่าซีโอดีระหว่าง ๘๔.๗๑-๒๒๓.๔๒ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๑๕๐.๑๓ ± ๓๙.๐๖ มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าซีโอดี ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าซีโอดีระหว่าง ๕๔.๓๖-๑๖๒๑.๙ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๑๐๓.๓๘ ± ๒๙.๗๓ มิลลิกรัมต่อลิตร นำค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมาวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ ๐.๐๕ เพื่อทดสอบว่าระยะเวลาในการปลูกแฝก มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี หรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในตารางที่ ๔.๔.๖



รูปที่ ๔.๔.๖ อายุของหญ้าแฝกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำเสีย

ตารางที่ ๔.๔.๖ การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่อายุของหญ้าแฝกต่างกัน

อายุของหญ้าแฝก (สัปดาห์)	N	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (ร้อยละ)		
		mean	SD	P
๑	๓	๒๖.๑๓	๔.๑๓	<๐.๐๐๑*
๒	๓	๒๗.๐๔	๓.๐๙	
๓	๓	๒๖.๘๑	๔.๕๒	
๔	๓	๓๒.๘๓	๑.๖๕	
๕	๓	๓๐.๓๙	๑.๖๙	
๖	๓	๒๙.๐๑	๓.๓๙	
๗	๓	๓๓.๓๓	๐.๐๐	
๘	๓	๓๕.๒๙	๐.๐๐	
๙	๓	๓๔.๙๓	๑.๐๓	
๑๐	๓	๓๑.๔๖	๒.๙๔	
๑๑	๓	๓๓.๗๓	๑.๔๙	
๑๒	๓	๓๕.๕๔	๑.๑๓	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ๐.๐๕ (P<๐.๐๕)

จากตารางที่ ๔.๔.๖ ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ ๐.๐๕ พบว่าระยะเวลาในการปลูกหญ้าแฝกมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ (multiple comparison test) แบบเทอคี (Tukey) ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ ๖ข พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียที่บำบัดด้วยสวนแฝกลอยน้ำ แบ่งออกเป็น ๒ ระยะ และทั้งสองระยะจะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ระยะแรกเป็นช่วงของการปลูกแฝกได้ ๓ สัปดาห์ ซึ่งสัปดาห์ที่ ๑ -๓ มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีไม่แตกต่างกัน

ระยะที่สองเป็นช่วงของการปลูกแฝกได้ ๔-๑๒ สัปดาห์ โดยระยะที่สองจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่าระยะแรก

ผลการทดลองสรุปได้ว่าระบบสวนแฝกลอยน้ำ ช่วยกำจัดซีโอดีของน้ำเสียจากการฟอกย้อมได้ประมาณร้อยละ ๓๓-๓๖ อายุของหญ้าแฝกมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียอย่างมีนัยสำคัญ (P<๐.๐๕) ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียสูงขึ้น เมื่อแฝกมีอายุมากขึ้น โดยแฝกจะสามารถกำจัดซีโอดีของน้ำเสียของน้ำเสียได้ร้อยละ ๓๓ เมื่อแฝกมีอายุ ๑ เดือน และเมื่อแฝกอายุ ๓ เดือน จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงที่สุด กล่าวคือสามารถกำจัดซีโอดีของน้ำเสียได้ร้อยละ ๓๖

๔.๕ การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

จากการนำทุ่นลอยปลูกแฝกมาใช้ในบ่อบำบัด ทำให้ไม่ต้องเปิดเครื่องเติมอากาศขนาด ๑.๕ กิโลวัตต์ ต่อชั่วโมง โดยปกติจะเปิดเครื่องเติมอากาศ ๙ ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็นเงิน

๑.๕ kW x ๙ ชั่วโมง x ๓ บาท	=	๔๐.๕๐	บาทต่อวัน
	=	๑,๒๑๕.๐๐	บาทต่อเดือน
	=	๑๔,๗๘๓.๕๐	บาทต่อปี

บทที่ ๕
สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบสวนพืชลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อม สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

(๑) หญ้าแฝกสามารถทนทาน เจริญเติบโต และอยู่รอดได้ในสภาพน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม โดยระยะเวลา ๓ เดือน ความสูงเฉลี่ยของลำต้นเพิ่มจาก ๒๐.๐๐ เซนติเมตร เป็น ๑๓๔.๐๐ เซนติเมตร ความยาวรากเฉลี่ยเพิ่มจาก ๕.๔๕ เซนติเมตร เป็น ๒๔.๖๒ เซนติเมตร มีอัตราการตายร้อยละ ๔.๕๐ อัตราการอยู่รอดร้อยละ ๙๕.๕๐ ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Xia (๒๐๐๔) พบว่าหญ้าแฝกที่ปลูกเพื่อฟื้นฟูพื้นที่ที่ปนเปื้อนน้ำมันปิโตรเลียมในประเทศจีน พบว่าหญ้าแฝกมีอัตราการอยู่รอดถึงร้อยละ ๙๙ โดย Xia et. Al (๒๐๐๓) ได้ให้ข้อเสนอแนะว่าการเลือกพืชมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ควรศึกษาถึงปัจจัยสภาพแวดล้อมของพืชที่สามารถทนต่อสภาพน้ำท่วมขัง สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ในท้องถิ่น ทนต่อภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง ทนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษ สามารถดูดซับและเก็บสะสมสารต่าง ๆ ได้ และนำออกจากระบบได้ง่าย โดยพบว่าหญ้าแฝกเป็นพืชชนิดหนึ่งที่สามารถทนทานและปรับตัวได้ดีในสภาพน้ำท่วมขัง

(๒) หญ้าแฝกช่วยลดค่าความสกปรกของน้ำในรูปบีโอดี ซีโอดี ช่วยลดปริมาณของแข็งแขวนลอยและความขุ่นในน้ำเสีย นอกจากนี้ยังสามารถลดปริมาณสีที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยหญ้าแฝกที่มีอายุมากจะมีประสิทธิภาพในการปรับสภาพน้ำเสียมากกว่าหญ้าแฝกที่มีอายุน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Danh et al. (๒๐๐๗) ทดลองโดยใช้หญ้าแฝกอายุ ๕ เดือน และ ๗ เดือน บำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารทะเล ในประเทศเวียดนาม พบว่าหญ้าแฝกที่มีอายุมากสามารถลดค่าไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้สูงกว่าหญ้าแฝกที่มีอายุน้อย เนื่องจากหญ้าแฝกที่มีอายุมากจะมีระบบรากที่แข็งแรง และมีพื้นที่ผิวของรากเพิ่มขึ้น ทำให้มีการดูดธาตุอาหารได้มากขึ้น

(๓) หญ้าแฝกสามารถปรับสภาพพีเอชของน้ำ โดยหลังการบำบัดน้ำเสียมีค่าพีเอชเพิ่มจาก ๕.๗๘±๐.๒๖ เป็น ๖.๓๗ ± ๐.๓๓ ค่าพีเอชในระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ ๖.๘๐ การที่น้ำหลังการบำบัดมีพีเอชสูงขึ้นเนื่องจากค่าพีเอชของน้ำถูกควบคุมโดยปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลทำให้สมดุลของคาร์บอเนตเปลี่ยนไป ค่าพีเอชของน้ำจึงเพิ่มขึ้น และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมทั่วไป (pH ๕.๕๐-๙.๐๐) ซึ่งเป็นพีเอชที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี และยังเหมาะกับการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ (Kadlec and knight, ๑๙๙๖)

(๔) หญ้าแฝกสามารถลดค่าความสกปรกของน้ำในรูปบีโอดี และซีโอดี และลดความเข้มของสีในน้ำได้ร้อยละ ๗๒-๗๗, ๓๓-๓๖ และ ๔๐-๔๓ ตามลำดับ เนื่องจากหญ้าแฝก จะช่วยในการบำบัดน้ำเสียโดยการดูดซึมธาตุอาหาร โลหะหนัก และสารอื่น ๆ ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสีย เพื่อนำมาใช้ในการเจริญเติบโตโดยผ่านทางระบบรากเข้าสู่ลำต้น นอกจากนี้รากของหญ้าแฝกยังเป็นส่วนสำคัญในการบำบัดน้ำเสีย กล่าวคือทำหน้าที่เพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ มีการเคลื่อนย้ายแก๊สต่าง ๆ รวมถึงออกซิเจนจากกาบใบลงสู่ระบบราก เกิดสภาพออกซิเจนเป็นฟิล์มบาง ๆ (rhizophere) รอบ ๆ ราก ทำให้จุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสิ่ง

สกปรกต่าง ๆ ในน้ำ ทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น (Hammer and Bastain, ๑๙๘๙) โดย Truong และ Hart (๒๐๐๑) ทดลองใช้ระบบหญ้าแฝกลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงจากการฟาร์มหมูในประเทศจีน ซึ่งมีค่าซีโอดีเฉลี่ย ๘๒๕ มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีโอดีเฉลี่ย ๕๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบหญ้าแฝก พบว่าสามารถลดค่าซีโอดีและบีโอดี ได้ร้อยละ ๖๔ และ ๖๘ ตามลำดับ และจากการศึกษาของ Njau และ Mlay (๒๐๐๑) ใช้หญ้าแฝกบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอในประเทศแทนซาเนีย (Tanzania) พบว่าสามารถลดค่าซีโอดี บีโอดี และสี ได้ร้อยละ ๔๖.๒, ๖๗.๔๗, และ ๗๘.๒ ตามลำดับ และในปี ๒๐๐๓ Njau and Mlay รายงานว่าหญ้าแฝกสามารถบำบัดน้ำเสียจากชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรมได้ดี โดยมีประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดี และซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ ๖๗.๔๗ และ ๔๖.๒๐ ตามลำดับ นอกจากนี้ Boonsong and Chansiri (๒๐๐๗) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกโดยใช้แท่นลอยน้ำบำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่าความเข้มข้นของน้ำเสียมีผลต่อการบำบัด โดยน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง (บีโอดี ๖๑-๑๑๖ มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของมลสารต่ำ (บีโอดี ๓๖-๕๑ มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีร้อยละ ๙๐.๕๔-๙๑.๔๖

เมื่อหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น จะทำให้มีความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำมากขึ้น หญ้าแฝกจะลำเลียงออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสง และบรรยากาศส่งผ่านไปยังราก ทำให้เกิดออกซิเดชั่นโดยรอบชั้นรากพืช ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจึงเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงขึ้น ส่งผลให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนสูงขึ้นด้วย (อรุณ, ๒๕๔๙; Boonsong and Chansiri, ๒๐๐๗) นอกจากนี้หญ้าแฝกเป็นพืชที่มีระบบรากยาวเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ได้อย่างดี ซึ่งเป็นการเพิ่มการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้ค่าบีโอดีลดลง (Njau and Mlay, ๒๐๐๓)

(๕) หญ้าแฝกมีประสิทธิภาพดีในการช่วยลดความขุ่น และกำจัดสารแขวนลอยในน้ำ โดยมีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นและกำจัดสารแขวนลอยร้อยละ ๕๔-๗๓ และ ๗๐-๘๘ ตามลำดับ แฝกที่อายุมากขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสารแขวนลอยจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากรากของแฝกมีความยาวและหนาแน่นมากขึ้น สามารถกรองตะกอนและสิ่งสกปรกได้ดี

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็ว เมื่อมีการเจริญเติบโตอย่างหนาแน่น ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียอาจลดลงได้ จึงควรมีการตัดลำต้นของหญ้าแฝก เมื่อประสิทธิภาพในการบำบัดเริ่มลดลง หรือเมื่อครบอายุการเก็บเกี่ยว ซึ่งคิดเป็น ๑ รอบหมุนเวียนของการบำบัด ดังนั้นจึงควรที่จะมีการศึกษาต่อเนื่องถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียในรอบหมุนเวียนต่อมาด้วย

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์หญ้าแฝกในการจัดการดิน. ๒๕๕๓. เอกสารเผยแพร่: การใช้ประโยชน์หญ้าแฝกในการรักษาและฟื้นฟูสภาพแวดล้อม. สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ภูมิพงศ์ นวลศิริ . ๒๕๕๓. บำบัดน้ำเสียด้วยพืชน้ำในท้องถิ่น.[online]. Available: http://www.sema.go.th. [2012, June, 30]

ดวงแก้ว ผุงเพิ่มตระกูล. ๒๕๕๐. หญ้าแฝก กำแพงชีวิต อนุรักษ์ดิน คืนน้ำใส. [online]. Available: http://www. ldd.go.th/NewsIndex/๒๐๐๔๐๘๒๙-๑.html. [2012, June, 30]

นิศานารท ละอองพันธ์ และ อำพร คล้ายแก้ว. ๒๕๕๒. การใช้พืชลอยน้ำปรับปรุงคุณภาพน้ำ. [online]. Available: http:www.kmcenter.rid.go.th.

สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. ๒๕๕๕. โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. [online] Available: http://www.rdpb.go.th/RDPB/front/Projects/RDPBProjectType.aspx?p=๔๑ [2012, June, 15]

อรุณ พงษ์กาญจนะ. ๒๕๔๙. ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของหญ้าแฝก. ภูมิวารินอนุรักษ์. ๒๑ : ๑๘-๒๑.

Adelaide & Mt Lofty Ranges Natural Resources Management Board. (2010). What is a wetland? (online). Available :http://waterwatchadelaide.net.au/index.php?page=growth-forms [2012, July, 26]

American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation (APHA,AWWA and EPCF). 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Association, Washington, D.C. 132 p.

Boonsong, K. and Chansiri. 2007. Efficiency of vetiver grass cultivated with floating platform technique in domestic wastewater treatment. vetiver systems: international vetiver conference ICV4. (online). Available source:http://wwww.vetiver .org/ICV4pdfs/BA02.pdf. [2007, Feb, 3]

Chiu, K.K., Ye, Z.H., and Wong, M.H. 2005. Enhanced uptake of As, Zn and Cu by *Vetiveria zizanioides* and *Zea mays* using chelating agents. Chemosphere. 60, 1365-1375.

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

Dalton, P.A., Smith, R.J., Truong, P.N.V. 1996. Vetiver grass hedges for erosion control on a cropped flood plain: Hedge hydraulics. Agric. Water Manag. 31, 91-104.

Danh, L.T., Phong, L., Dung,L., and Truong, P. 2007. Wastwater treatment at a seafood processing factory on the Mekong Delta, Vietnam. vetiver systems: International vetiver conference ICV4. (online). Available source: http://wwww. vetiver .org / ICV4pdfs / BA25.pdf. [2007, Feb, 3]

Davis, L., DuPoldt, C., and Edwards, R. 1997. A Handbook of Constructed Wetlands. Washington DC: U.S. Government Printing Office.

Kong, X., Weiwen, L., Biging, W., and Fuhe, L. 2003. Study on vetiver's purification from pig farm, pp. 181-185. In: Proceedings on the third international conference on vetiver and exhibition. China. 9-12 October 2003.

Kadlec, R.H. and knight, R.L. 1996. Treatment wetland. Lewis Publishers, Boca Raton, FL., USA. 893pp.

Hammer, D.A. (ed.), 1989. Constructed wetlands for wastewater treatment: municipal, industrial, and agricultural. Lewis Publishers, Chelsea, MI. 831pp.

Hammer, D.A. and R.K. Bastian. 1989. Wetlands ecosystems : Natural water purifiers. pp.5-20. In Constructed wetlands for wastewater treatment. D.A. Hammer, ed. Lewis publishers, Chelsea, Michigan.

Liao, X.S., Luo, S., Wu, Y., and Wang, Z. 2003. Studies on the abilities of *Vetiveria Zizanioides* and *Cyperus alternifolius* for pig farm wastewater treatment, pp.174-181. In The Third International Conference on Vetiver and Exhibition Vetiver and Water.Guangdong Academy of Agricultural Sciences, South China Institute of Botany, Chinese Academy Sciences, South China Agricultural University, Guangdong Association of Grass Industry and Environment, Guangzhou.

Njau, K.N., and Mlay.H. 2001. Wastewater treatment and other research initiatives with vetiver grass department of chemical and process engineering, Dar Es Salaam, Tanzania, pp 1-10.

Njau, K.N., and Mlay.H. 2003. Wastewater Treatment and other research initiatives with vetiver grass, pp.231-240. In The Third International Conference on Vetiver and Exhibition Vetiver and Water.Guangdong Academy of Agricultural Sciences, South China Institute of Botany, Chinese Academy Sciences, South China Agricultural University, Guangdong Association of Grass Industry and Environment, Guangzhou.

US Army Corps of Engineering. 1993. Selection and acquisition of wetland plant species for wetland management project. VN-EM-2.1. Vicksburg: US Army Corps ofEngineering.

Thares, S. and Sengsai, W. 2003. Chromium removal efficiency by *Vetiveria zizanioides* ans *V. Nemoralis* for Tannery post-treatment wastewater, pp.160-169. In The Third International Conference on Vetiver and Exhibition Vetiver and Water.Guangdong Academy of Agricultural Sciences, South China Institute of Botany, Chinese Academy Sciences, South China Agricultural University, Guangdong Association of Grass Industry and Environment, Guangzhou.

Truong, P., and Hart, B. 2001. Vetiver system for wastewater treatment. (online). Available source: http://vetivernetinternational.blogspot.com/2010/03/waste-water-clean-up-in-calfornia-using.html. [2010, March 22].

Wantawin, C, Nittaya, W., Udomsak, I. Tavicha, B., and Padungsak,P. 2007. Water quality improvement in canal like water body by hydroponic vetiver. vetiver systems: International vetiver conference ICV4. (online). Available source: http://wwww. vetiver .org / ICV4pdfs / BA26.pdf . [2007, Feb, 3].

Xia, H., Liu,S., and Ao, H. 2000. Study on purification and uptake of garbage leachate by vetiver grass, pp.394-406. In: Proceedings of the second International Conference on Vetiver. Thailand. 18-22 January 2000.

Xia, H., Ke, H, Deng, Z., Tan, P and Liu, S. 2003. Ecological effectiveness of vetiver constructed wetlands in treating oil-refined wastewater. pp. 115-125. In The Third International Conference on Vetiver and Exhibition-Vetiver and water. Guangdong Academy of Agricultural Sciences, South China Institute of Botany, Chinese Academy Sciences, South China Agricultural University, Guangdong Association of Grass Industry and Environment, Guangzhou.

Xia, H.P., 2004. Ecological rehabilitation and phytoremediation with four grasses in oil shale mined land. Chemosphere, Vol 54, pp. 345-353.

Zheng, C., Tu, C., and Chen, H. 1977. Preliminary study on purification of eutrophic water with vetiver. Proc. International Vetiver Workshop, Fuzhou, China October 1997.

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ๑ก ความสูงของต้นหญ้าแฝก (เซนติเมตร) ในแพหญ้าแฝกตลอดระยะเวลาทดลอง

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ต้นที่ ๑	ต้นที่ ๒	ต้นที่ ๓	ต้นที่ ๔	ต้นที่ ๕	เฉลี่ย	SD
๑	๒๙.๐	๓๓.๓	๒๗.๐	๒๕.๗	๓๓.๕	๒๙.๗๐	๓.๕๘
๒	๔๐.๐	๔๔.๖	๔๘.๑	๔๕.๕	๔๐.๙	๔๓.๘๒	๓.๓๕
๓	๕๓.๕	๕๘.๗	๕๙.๓	๕๔.๖	๕๐.๕	๕๕.๓๒	๓.๖๙
๔	๖๐.๐	๖๖.๐	๖๙.๒	๖๐.๖	๖๙.๕	๖๕.๐๖	๔.๕๖
๕	๗๕.๔	๗๐.๘	๗๙.๖	๘๑.๔	๗๕.๕	๗๖.๕๔	๔.๑๓
๖	๑๐๐.๐	๘๙.๐	๙๐.๖	๑๐๓.๔	๑๐๐.๘	๙๖.๗๖	๖.๕๐
๗	๑๑๐.๕	๑๐๕.๗	๑๐๘.๐	๑๐๕.๔	๑๑๐.๑	๑๐๗.๙๔	๒.๓๘
๘	๑๑๕.๑	๑๑๐.๓	๑๒๐.๔	๑๒๐.๕	๑๑๐.๕	๑๑๕.๓๖	๕.๐๓
๙	๑๒๐.๕	๑๒๘.๕	๑๑๙.๐	๑๒๕.๗	๑๒๐.๓	๑๒๒.๘๐	๔.๐๙
๑๐	๑๒๘.๔	๑๓๐.๓	๑๓๐.๐	๑๓๐.๕	๑๒๕.๐	๑๒๘.๘๔	๒.๓๐
๑๑	๑๓๐.๐	๑๓๓.๐	๑๓๐.๔	๑๓๕.๐	๑๒๘.๗	๑๓๑.๔๒	๒.๕๔
๑๒	๑๓๓.๐	๑๓๕.๐	๑๓๐.๕	๑๓๗.๒	๑๓๔.๓	๑๓๔.๐๐	๒.๔๘

ตารางที่ ๒ก ความสูงของรากหญ้าแฝก (เซนติเมตร) ในแพหญ้าแฝกตลอดระยะเวลาทดลอง

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ต้นที่ ๑	ต้นที่ ๒	ต้นที่ ๓	ต้นที่ ๔	ต้นที่ ๕	เฉลี่ย	SD
๑	๗.๐	๖.๔	๖.๐	๕.๐	๖.๕	๖.๑๘	๐.๗๕
๒	๙.๕	๗.๘	๗.๓	๗.๕	๘.๐	๘.๐๒	๐.๘๗
๓	๑๓.๐	๑๒.๕	๑๒.๗	๑๒.๐	๑๒.๐	๑๒.๔๔	๐.๔๔
๔	๑๖.๕	๑๖.๐	๑๗.๐	๑๖.๐	๑๗.๐	๑๖.๕๐	๐.๕๐
๕	๑๘.๕	๑๘.๐	๑๙.๐	๑๙.๐	๑๘.๗	๑๘.๖๔	๐.๔๒
๖	๑๙.๕	๑๙.๓	๒๐.๐	๒๐.๐	๒๑.๐	๑๙.๙๖	๐.๖๖
๗	๒๐.๐	๒๐.๕	๒๑.๖	๒๑.๕	๒๑.๗	๒๑.๐๖	๐.๗๖
๘	๒๑.๕	๒๒.๐	๒๒.๓	๒๒.๖	๒๒.๐	๒๒.๐๘	๐.๔๑
๙	๒๒.๐	๒๓.๐	๒๓.๐	๒๒.๔	๒๒.๐	๒๒.๔๘	๐.๕๐
๑๐	๒๒.๕	๒๓.๗	๒๓.๘	๒๓.๐	๒๓.๐	๒๓.๒๐	๐.๕๔
๑๑	๒๓.๐	๒๔.๐	๒๔.๒	๒๔.๐	๒๓.๕	๒๓.๗๔	๐.๔๙
๑๒	๒๓.๕	๒๔.๘	๒๕.๐	๒๕.๐	๒๔.๘	๒๔.๖๒	๐.๖๓

ตารางที่ ๓ก สมบัติของน้ำเสียก่อนบำบัด

สัปดาห์	บีโอดี (mg/l)	พีเอช	ความขุ่น (NTU)	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (mg/l)	ซีโอดี (mg/l)
๑	๓๐๙.๐๐	๕.๖๔	๒๙.๒๗	๐.๓๕๒	๖๑.๓๓	๑๔๔.๗๘๒๖
๒	๒๙๘.๖๗	๕.๙๓	๓๐.๗๘	๐.๓๖๓	๔๔.๐๐	๒๒๓.๔๒๓๔
๓	๓๓๖.๖๗	๖.๐๐	๒๓.๔๔	๐.๓๗๑	๕๖.๐๐	๑๘๕.๘๕๘๖
๔	๓๔๓.๖๗	๖.๐๑	๒๒.๔๙	๐.๓๖๘	๕๓.๓๓	๑๓๔.๒๕๖๘
๕	๒๙๘.๐๐	๕.๔๖	๒๔.๗๗	๐.๓๖๔	๕๘.๖๗	๑๔๔.๔๒๔๘
๖	๓๑๑.๐๐	๕.๓๙	๒๘.๖๒	๐.๓๘๐	๕๓.๓๓	๑๔๘.๑๘๐๓
๗	๓๒๗.๖๗	๕.๔๔	๒๕.๙๑	๐.๓๗๖	๔๘.๐๐	๑๘๕.๒๔๘๗
๘	๓๑๐.๖๗	๕.๙๓	๒๖.๕๕	๐.๓๙๕	๕๖.๐๐	๑๔๕.๘๐๑๑
๙	๓๓๘.๓๓	๖.๐๒	๒๗.๗๙	๐.๓๘๒	๕๘.๖๗	๑๓๖.๒๘๓๒
๑๐	๓๐๗.๓๓	๕.๙๙	๒๕.๐๖	๐.๔๕๔	๕๔.๖๗	๙๑.๙๓๙
๑๑	๒๙๗.๐๐	๖.๐๔	๓๑.๐๔	๐.๔๕๓	๕๘.๖๗	๑๗๖.๖๕๗๕
๑๒	๓๒๖.๐๐	๕.๕๖	๓๐.๒๔	๐.๔๗๒	๖๕.๓๓	๘๔.๗๑๑๒๑
เฉลี่ย	๓๑๗.๐๐	๕.๗๘	๒๗.๑๖	๐.๓๙	๕๕.๖๗	๑๕๐.๑๓
SD	๑๖.๗๓	๐.๒๖	๒.๙๐	๐.๐๔	๕.๗๒	๓๙.๐๖

ตารางที่ ๔ก ค่าบีโอดีของน้ำก่อนและหลังการบำบัดด้วยสวนแฝกลอยน้ำ

สัปดาห์	น้ำเสียก่อนบำบัด				น้ำเสียหลังบำบัด			
	๑	๒	๓	เฉลี่ย	๑	๒	๓	เฉลี่ย
๑	๓๑๐	๓๐๙	๓๐๘	๓๐๙.๐๐	๑๐๗	๑๐๘	๑๑๓	๑๐๙.๓๓
๒	๓๐๐	๒๙๙	๒๙๗	๒๙๘.๖๗	๑๑๐	๙๕	๑๐๐	๑๐๑.๖๗
๓	๓๓๕	๓๓๗	๓๓๘	๓๓๖.๖๗	๙๕	๙๙	๑๐๐	๙๘.๐๐
๔	๓๔๐	๓๔๔	๓๔๗	๓๔๓.๖๗	๙๑	๙๓	๙๗	๙๓.๖๗
๕	๒๙๘	๓๐๐	๒๙๖	๒๙๘.๐๐	๘๐	๗๙	๘๒	๘๐.๓๓
๖	๓๑๐	๓๑๑	๓๑๒	๓๑๑.๐๐	๘๖	๘๐	๘๔	๘๓.๓๓
๗	๓๓๐	๓๒๘	๓๒๕	๓๒๗.๖๗	๙๐	๙๕	๘๘	๙๑.๐๐
๘	๓๒๑	๓๐๐	๓๑๑	๓๑๐.๖๗	๘๒	๗๘	๘๐	๘๐.๐๐
๙	๓๕๐	๓๓๐	๓๓๕	๓๓๘.๓๓	๗๙	๗๕	๘๐	๗๘.๐๐
๑๐	๓๑๐	๓๐๕	๓๐๗	๓๐๗.๓๓	๗๕	๗๒	๗๔	๗๓.๖๗
๑๑	๓๐๐	๒๙๕	๒๙๖	๒๙๗.๐๐	๗๖	๗๔	๗๑	๗๓.๖๗
๑๒	๓๓๐	๓๒๐	๓๒๘	๓๒๖.๐๐	๗๘	๗๓	๗๕	๗๕.๓๓

ตารางที่ ๕ก ค่าพีเอชของน้ำก่อนและหลังการบำบัดด้วยสวนแฝกลอยน้ำ

สัปดาห์	น้ำเสียก่อนบำบัด				น้ำเสียหลังบำบัด			
	๑	๒	๓	เฉลี่ย	๑	๒	๓	เฉลี่ย
๑	๕.๖๕	๕.๗๘	๕.๕๐	๕.๖๔	๖.๐๒	๕.๙๐	๕.๙๕	๕.๙๖
๒	๕.๙๐	๖.๐๐	๕.๘๘	๕.๙๓	๖.๒๔	๖.๓๐	๖.๓๐	๖.๒๘
๓	๖.๐๒	๖.๐๐	๕.๙๘	๖.๐๐	๖.๖๒	๖.๕๙	๖.๕๕	๖.๕๙
๔	๕.๙๙	๖.๐๓	๖.๐๒	๖.๐๑	๖.๕๕	๖.๕๔	๖.๖๐	๖.๕๖
๕	๕.๕๐	๕.๔๕	๕.๔๒	๕.๔๖	๖.๐๐	๕.๙๕	๕.๙๐	๕.๙๕
๖	๕.๓๕	๕.๓๙	๕.๔๒	๕.๓๙	๖.๐๒	๕.๘๐	๕.๘๖	๕.๘๙
๗	๕.๔๕	๕.๕๐	๕.๓๖	๕.๔๔	๖.๑๕	๖.๐๐	๖.๑๘	๖.๑๑
๘	๕.๙๐	๖.๐๕	๕.๘๕	๕.๙๓	๖.๕๘	๖.๖๕	๖.๖๖	๖.๖๓
๙	๖.๑๐	๕.๙๘	๕.๙๙	๖.๐๒	๖.๘๐	๖.๗๖	๖.๗๕	๖.๗๗
๑๐	๖.๐๐	๖.๐๑	๕.๙๕	๕.๙๙	๖.๘๐	๖.๖๘	๖.๗๐	๖.๗๓
๑๑	๖.๐๘	๖.๐๕	๕.๙๙	๖.๐๔	๖.๗๓	๖.๖๘	๖.๗๕	๖.๗๒
๑๒	๕.๕๕	๕.๕๓	๕.๖๐	๕.๕๖	๖.๒๕	๖.๓๐	๖.๓๐	๖.๒๘

ตารางที่ ๖ก ค่าความขุ่นของน้ำก่อนและหลังการบำบัดด้วยสวนแฝกลอยน้ำ

สัปดาห์	น้ำเสียก่อนบำบัด				น้ำเสียหลังบำบัด			
	๑	๒	๓	เฉลี่ย	๑	๒	๓	เฉลี่ย
๑	๒๙.๕๔	๒๙.๕๒	๒๘.๗๕	๒๙.๒๗	๒๔.๕๕	๒๔.๕๒	๒๔.๗๑	๒๔.๕๙
๒	๓๐.๖๐	๓๐.๕๐	๓๑.๒๕	๓๐.๗๘	๒๕.๘๖	๒๕.๘๐	๒๕.๗๔	๒๕.๘๐
๓	๒๓.๔๐	๒๓.๕๖	๒๓.๓๕	๒๓.๔๔	๑๖.๙๖	๑๖.๘๕	๑๖.๙๒	๑๖.๙๑
๔	๒๒.๔๗	๒๒.๕๐	๒๒.๕๑	๒๒.๔๙	๑๐.๒๘	๑๐.๓๐	๑๐.๒๕	๑๐.๒๘
๕	๒๔.๗๐	๒๔.๗๘	๒๔.๘๓	๒๔.๗๗	๑๐.๕๐	๑๐.๔๘	๑๐.๔๔	๑๐.๔๗
๖	๒๘.๕๕	๒๘.๖๐	๒๘.๗๑	๒๘.๖๒	๑๑.๓๖	๑๑.๒๕	๑๑.๓๔	๑๑.๓๒
๗	๒๕.๙๓	๒๕.๘๙	๒๕.๙๐	๒๕.๙๑	๙.๘๙	๙.๘๕	๙.๘๘	๙.๘๗
๘	๒๖.๕๗	๒๖.๕๓	๒๖.๕๕	๒๖.๕๕	๙.๘๓	๙.๘๐	๙.๘๐	๙.๘๑
๙	๒๗.๘๒	๒๗.๗๕	๒๗.๗๙	๒๗.๗๙	๑๐.๐๙	๑๐.๐๕	๑๐.๐๕	๑๐.๐๖
๑๐	๒๔.๙๘	๒๕.๒๑	๒๕.๐๐	๒๕.๐๖	๘.๘๕	๘.๘๐	๘.๘๐	๘.๘๒
๑๑	๓๑.๐๘	๓๐.๙๘	๓๑.๐๗	๓๑.๐๔	๘.๗๔	๘.๗๐	๘.๗๐	๘.๗๑
๑๒	๓๐.๒๕	๓๐.๒๕	๓๐.๒๑	๓๐.๒๔	๘.๓๐	๘.๓๕	๘.๒๙	๘.๓๑

ตารางที่ ๗ก ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น นาโนเมตรของน้ำก่อนและหลังการบำบัดด้วยสวนแฝกลอยน้ำ

สัปดาห์	น้ำเสียก่อนบำบัด				น้ำเสียหลังบำบัด			
	๑	๒	๓	เฉลี่ย	๑	๒	๓	เฉลี่ย
๑	๐.๓๕	๐.๓๕๒	๐.๓๕๔	๐.๓๕๒	๐.๒๕๗	๐.๒๕๙	๐.๒๕๕	๐.๒๕๗
๒	๐.๓๖๒	๐.๓๖๖	๐.๓๖	๐.๓๖๓	๐.๒๕๗	๐.๒๕๘	๐.๒๕๖	๐.๒๕๗
๓	๐.๓๗๒	๐.๓๗๒	๐.๓๗	๐.๓๗๑	๐.๒๖	๐.๒๖๓	๐.๒๖๔	๐.๒๖๒
๔	๐.๓๗๑	๐.๓๖๕	๐.๓๖๘	๐.๓๖๘	๐.๒๕๕	๐.๒๕๓	๐.๒๕๔	๐.๒๕๔
๕	๐.๓๖	๐.๓๖๙	๐.๓๖๒	๐.๓๖๔	๐.๒๔๙	๐.๒๕	๐.๒๕๑	๐.๒๕๐
๖	๐.๓๘	๐.๓๗๘	๐.๓๘๒	๐.๓๘๐	๐.๒๕๔	๐.๒๕๕	๐.๒๕๖	๐.๒๕๕
๗	๐.๓๘	๐.๓๗๘	๐.๓๗	๐.๓๗๖	๐.๒๕๑	๐.๒๕๒	๐.๒๕๓	๐.๒๕๒
๘	๐.๓๙	๐.๓๙๔	๐.๔	๐.๓๙๕	๐.๒๖๓	๐.๒๖๓	๐.๒๖๕	๐.๒๖๔
๙	๐.๓๘	๐.๓๘๔	๐.๓๘๒	๐.๓๘๒	๐.๒๕๔	๐.๒๕๕	๐.๒๕๖	๐.๒๕๕
๑๐	๐.๔๕๕	๐.๔๕	๐.๔๕๘	๐.๔๕๔	๐.๒๗๓	๐.๒๗	๐.๒๖๙	๐.๒๗๑
๑๑	๐.๔๕๕	๐.๔๕๑	๐.๔๕๓	๐.๔๕๓	๐.๒๖๒	๐.๒๖๒	๐.๒๖๔	๐.๒๖๓
๑๒	๐.๔๗	๐.๔๗๒	๐.๔๗๕	๐.๔๗๒	๐.๒๖๙	๐.๒๗	๐.๒๖๘	๐.๒๖๙

ตารางที่ ๘ก ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำก่อนบำบัด

สัปดาห์	๑			๒			๓			เฉลี่ย	ปริมาณของแข็งแขวนลอย
	ก่อนกรอง	หลังกรอง	ของแข็ง	ก่อนกรอง	หลังกรอง	ของแข็ง	ก่อนกรอง	หลังกรอง	ของแข็ง		
๑	๑๘.๕๕๗๔	๑๘.๕๕๘๙	๐.๐๐๑๕	๑๘.๗๕๗๔	๑๘.๗๕๙	๐.๐๐๑๖	๑๙.๐๐๗	๑๙.๐๐๘๕	๐.๐๐๑๕	๐.๐๐๑๕	๖๑.๓๓
๒	๑๗.๕๖๙๘	๑๗.๕๗๐๙	๐.๐๐๑๑	๑๗.๙๘๘๖	๑๗.๙๘๙๖	๐.๐๐๑	๑๘.๖๕๕๓	๑๘.๖๕๖๕	๐.๐๐๑๒	๐.๐๐๑๑	๔๔.๐๐
๓	๑๗.๘๖๕๓	๑๗.๘๖๖๗	๐.๐๐๑๔	๑๘.๕๕๕๗	๑๘.๕๕๖๒	๐.๐๐๑๕	๑๘.๙๕๖	๑๘.๙๕๗๓	๐.๐๐๑๓	๐.๐๐๑๔	๕๖.๐๐
๔	๑๖.๗๒๗๕	๑๖.๗๒๘๘	๐.๐๐๑๓	๑๙.๖๖๘๕	๑๙.๖๖๙๘	๐.๐๐๑๓	๑๘.๗๕๙๕	๑๘.๗๖๐๙	๐.๐๐๑๔	๐.๐๐๑๓	๕๓.๓๓
๕	๑๖.๙๒๙	๑๖.๙๓๐๔	๐.๐๐๑๔	๒๐.๕๘๗๓	๒๐.๕๘๘๘	๐.๐๐๑๕	๑๘.๙๘๙	๑๘.๙๙๐๕	๐.๐๐๑๕	๐.๐๐๑๕	๕๘.๖๗
๖	๑๘.๕๕๕๔	๑๘.๕๕๖๗	๐.๐๐๑๓	๑๙.๘๔๓๒	๑๙.๘๔๔๗	๐.๐๐๑๕	๑๘.๙๖๗๕	๑๘.๙๖๘๗	๐.๐๐๑๒	๐.๐๐๑๓	๕๓.๓๓
๗	๑๘.๖๑๙๒	๑๘.๖๒๐๔	๐.๐๐๑๒	๑๘.๙๗๖๕	๑๘.๙๗๙๘	๐.๐๐๑๓	๑๙.๕๖๘๕	๑๙.๕๖๙๖	๐.๐๐๑๑	๐.๐๐๑๒	๔๘.๐๐
๘	๑๙.๒๐๗๖	๑๙.๒๐๘๙	๐.๐๐๑๓	๑๙.๖๕๕๘	๑๙.๖๕๗๔	๐.๐๐๑๖	๑๙.๖๓๐๗	๑๙.๖๓๒	๐.๐๐๑๓	๐.๐๐๑๔	๕๖.๐๐
๙	๑๗.๙๘๕๖	๑๗.๙๘๗๑	๐.๐๐๑๕	๒๐.๓๑๐๒	๒๐.๓๑๑๗	๐.๐๐๑๕	๑๘.๙๗๖๔	๑๘.๙๗๗๘	๐.๐๐๑๔	๐.๐๐๑๕	๕๘.๖๗
๑๐	๑๗.๙๔๕๗	๑๗.๙๔๗	๐.๐๐๑๓	๒๑.๓๐๐๔	๒๑.๓๐๑๘	๐.๐๐๑๔	๑๙.๘๙๙๖	๑๙.๙๐๑	๐.๐๐๑๔	๐.๐๐๑๔	๕๔.๖๗
๑๑	๑๘.๒๖๔๓	๑๘.๒๖๕๗	๐.๐๐๑๔	๑๙.๕๕๐๔	๑๙.๕๕๑๙	๐.๐๐๑๕	๑๗.๙๙๕๔	๑๙.๙๙๖๙	๐.๐๐๑๕	๐.๐๐๑๕	๕๘.๖๗
๑๒	๑๘.๑๔๕	๑๘.๑๔๖๕	๐.๐๐๑๕	๑๙.๘๕๔	๑๙.๘๕๖	๐.๐๐๒	๑๙.๘๕๓๖	๑๙.๘๕๕	๐.๐๐๑๔	๐.๐๐๑๖	๖๕.๓๓

ตารางที่ ๙ก ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำหลังบำบัด

สัปดาห์	๑			๒			๓			เฉลี่ย	ปริมาณของแข็งแขวนลอย
	ก่อนกรอง	หลังกรอง	ของแข็ง	ก่อนกรอง	หลังกรอง	ของแข็ง	ก่อนกรอง	หลังกรอง	ของแข็ง		
๑	๑๘.๕๕๕๓	๑๘.๕๕๖๖	๐.๐๐๑๓	๑๙.๘๗๗๕	๑๙.๘๗๘๖	๐.๐๐๑๑	๒๐.๐๐๕๙	๒๐.๐๐๗๒	๐.๐๐๑๓	๐.๐๐๑๒	๔๙.๓๓
๒	๑๘.๘๕๒๗	๑๘.๘๕๓๕	๐.๐๐๐๘	๑๙.๖๕๓๒	๑๙.๖๕๔๑	๐.๐๐๐๙	๒๐.๑๐๒๔	๒๐.๑๐๓๒	๐.๐๐๐๘	๐.๐๐๐๘	๓๒.๐๐
๓	๑๘.๔๕๙๔	๑๘.๔๕๐๓	๐.๐๐๐๙	๑๙.๖๓๓๕	๑๙.๖๓๔๓	๐.๐๐๐๘	๑๙.๘๖๙๔	๑๙.๘๗๐๓	๐.๐๐๐๙	๐.๐๐๐๙	๓๔.๖๗
๔	๑๘.๓๘๕๓	๑๘.๓๘๖	๐.๐๐๐๗	๑๘.๙๘๖๕	๑๘.๙๘๗๓	๐.๐๐๐๘	๑๙.๗๕๕	๑๙.๗๕๕๘	๐.๐๐๐๘	๐.๐๐๐๘	๓๐.๖๗
๕	๑๘.๒๒๖๙	๑๘.๒๒๗๖	๐.๐๐๐๗	๑๘.๒๙๘๓	๑๘.๒๙๙	๐.๐๐๐๗	๑๙.๖๗๙๕	๑๙.๖๘๐๓	๐.๐๐๐๘	๐.๐๐๐๗	๒๙.๓๓
๖	๑๙.๓๙๗๗	๑๙.๓๙๘๑	๐.๐๐๐๔	๒๐.๓๙๘๑	๒๐.๓๙๘๖	๐.๐๐๐๕	๑๙.๖๔๓๒	๑๙.๖๔๓๙	๐.๐๐๐๗	๐.๐๐๐๕	๒๑.๓๓
๗	๑๙.๐๑๕๓	๑๙.๐๑๕๖	๐.๐๐๐๓	๒๐.๑๕๙๖	๒๐.๑๖	๐.๐๐๐๔	๑๙.๕๖๖๒	๑๙.๕๖๖๗	๐.๐๐๐๕	๐.๐๐๐๔	๑๖.๐๐
๘	๑๘.๖๖๑๑	๑๘.๖๖๑๔	๐.๐๐๐๓	๒๐.๐๐๙	๒๐.๐๐๙๓	๐.๐๐๐๓	๑๘.๘๘๘๕	๑๘.๘๘๘๙	๐.๐๐๐๔	๐.๐๐๐๓	๑๓.๓๓
๙	๑๘.๓๘๔๓	๑๘.๓๘๔๖	๐.๐๐๐๓	๑๙.๘๖๗๔	๑๙.๘๖๗๗	๐.๐๐๐๓	๑๘.๙๘๗	๑๘.๙๘๗๓	๐.๐๐๐๓	๐.๐๐๐๓	๑๒.๐๐
๑๐	๑๙.๓๘๕๓	๑๙.๓๘๕๕	๐.๐๐๐๒	๑๘.๕๒๐๓	๑๘.๕๒๐๕	๐.๐๐๐๒	๑๙.๘๕๒๗	๑๙.๘๕๓	๐.๐๐๐๓	๐.๐๐๐๒	๙.๓๓
๑๑	๑๘.๓๙๑๕	๑๘.๓๙๑๗	๐.๐๐๐๒	๑๘.๗๕๕๔	๑๘.๗๕๕๖	๐.๐๐๐๒	๑๙.๑๓๕๙	๑๙.๑๓๖๑	๐.๐๐๐๒	๐.๐๐๐๒	๘.๐๐
๑๒	๑๘.๖๑๒๗	๑๘.๖๑๒๙	๐.๐๐๐๒	๑๙.๕๖๐๗	๑๙.๕๖๐๙	๐.๐๐๐๒	๑๙.๓๖๐๙	๑๙.๓๖๑๑	๐.๐๐๐๒	๐.๐๐๐๒	๘.๐๐

ตารางที่ ๑๐ก ปริมาณซีโอดีของน้ำก่อนบำบัด

สัปดาห์	สารมาตรฐาน FAS				Blank				น้ำก่อนบำบัด				ค่าซีโอดี (mg/L)
	๑	๒	๓	เฉลี่ย	๑	๒	๓	เฉลี่ย	๑	๒	๓	เฉลี่ย	
๑	๒๐.๔	๒๐.๕	๒๐.๔	๒๐.๔๔	๑๒.๑	๑๒.๒	๑๒.๑	๑๒.๑๔	๘.๔	๘.๕	๘.๔	๘.๔๔	๑๔๔.๗๘๒๖
๒	๑๘.๖	๑๘.๔	๑๘.๕	๑๘.๕๐	๑๓.๖	๑๓.๕	๑๓.๖	๑๓.๕๖	๘.๓	๘.๕	๘.๔	๘.๓๙	๒๒๓.๔๒๓๔
๓	๑๙.๙	๑๙.๗	๑๙.๘	๑๙.๘๐	๑๕.๕	๑๕.๖	๑๕.๕	๑๕.๕๔	๑๐.๙	๑๑	๑๐.๙	๑๐.๙๔	๑๘๕.๘๕๘๖
๔	๒๐.๙	๒๐.๘	๒๐.๙	๒๐.๘๖	๑๔.๔	๑๔.๓	๑๔.๔	๑๔.๓๖	๑๐.๙	๑๐.๘	๑๐.๙	๑๐.๘๖	๑๓๔.๒๕๖๘
๕	๑๘.๘	๑๘.๙	๑๘.๘	๑๘.๘๓	๑๓	๑๒.๙	๑๓.๐	๑๒.๙๖	๙.๖	๙.๕	๙.๖	๙.๕๖	๑๔๔.๔๒๔๘
๖	๒๐.๔	๒๐.๕	๒๐.๕	๒๐.๔๖	๑๔.๓	๑๔.๕	๑๔.๔	๑๔.๓๙	๑๐.๖	๑๐.๖	๑๐.๖	๑๐.๖๐	๑๔๘.๑๘๐๓
๗	๑๙.๔	๑๙.๕	๑๙.๔	๑๙.๔๓	๑๕.๕	๑๕.๔	๑๕.๕	๑๕.๔๖	๑๑	๑๐.๙	๑๑.๐	๑๐.๙๖	๑๘๕.๒๔๘๗
๘	๑๘.๕	๑๘.๘	๑๘.๗	๑๘.๖๖	๑๓	๑๒.๙	๑๓.๐	๑๒.๙๖	๙.๖	๙.๕	๙.๖	๙.๕๖	๑๔๕.๘๐๑๑
๙	๒๐	๒๐.๒	๒๐.๑	๒๐.๐๙	๑๓.๖	๑๓.๕	๑๓.๖	๑๓.๕๖	๑๐	๑๐.๓	๑๐.๑	๑๐.๑๓	๑๓๖.๒๘๓๒
๑๐	๒๐.๕	๒๐.๔	๒๐.๓	๒๐.๔๐	๑๓.๘	๑๓.๘	๑๓.๘	๑๓.๘๐	๑๑.๕	๑๑.๔	๑๑.๕	๑๑.๔๖	๙๑.๙๓๙
๑๑	๒๐.๕	๒๐	๒๐.๓	๒๐.๒๘	๑๔	๑๔.๒	๑๔.๑	๑๔.๐๙	๙.๗	๙.๕	๙.๖	๙.๖๑	๑๗๖.๖๕๗๕
๑๒	๑๙.๖	๑๙.๘	๑๙.๕	๑๙.๖๒	๑๒.๗	๑๒.๘	๑๒.๗	๑๒.๗๔	๑๐.๘	๑๐.๕	๑๐.๗	๑๐.๖๗	๘๔.๗๑๒๑

ตารางที่ ๑๑ก ปริมาณซีโอดีของน้ำหลังบำบัด

สัปดาห์	สารมาตรฐาน FAS				Blank				น้ำก่อนบำบัด				ค่าซีโอดี (mg/L)
	๑	๒	๓	เฉลี่ย	๑	๒	๓	เฉลี่ย	๑	๒	๓	เฉลี่ย	
๑	๒๐.๔	๒๐.๕	๒๐.๔	๒๐.๔๔	๑๒.๑	๑๒.๒	๑๒.๑	๑๒.๑๔	๙.๕	๙.๓	๙.๔	๙.๔๑	๑๐๖.๙๕๖๕
๒	๑๘.๖	๑๘.๔	๑๘.๕	๑๘.๕๐	๑๓.๖	๑๓.๕	๑๓.๖	๑๓.๕๖	๙.๙	๙.๗	๙.๘	๙.๘๑	๑๖๑.๙๒๑๙
๓	๑๙.๙	๑๙.๗	๑๙.๘	๑๙.๘๐	๑๕.๕	๑๕.๖	๑๕.๕	๑๕.๕๔	๑๒.๓	๑๒	๑๒.๒	๑๒.๑๗	๑๓๖.๔๗๕๙
๔	๒๐.๙	๒๐.๘	๒๐.๙	๒๐.๘๖	๑๔.๔	๑๔.๓	๑๔.๔	๑๔.๓๖	๑๒	๑๒	๑๒.๐	๑๒.๐๐	๙๐.๓๕๖๙๕
๕	๑๘.๘	๑๘.๙	๑๘.๘	๑๘.๘๓	๑๓	๑๒.๙	๑๓.๐	๑๒.๙๖	๑๐.๗	๑๐.๕	๑๐.๖	๑๐.๖๑	๙๙.๕๘๗๐๒
๖	๒๐.๔	๒๐.๕	๒๐.๕	๒๐.๔๖	๑๔.๓	๑๔.๕	๑๔.๔	๑๔.๓๙	๑๑.๘	๑๑.๖	๑๑.๗	๑๑.๗๑	๑๐๔.๗๒๕๗
๗	๑๙.๔	๑๙.๕	๑๙.๔	๑๙.๔๓	๑๕.๕	๑๕.๔	๑๕.๕	๑๕.๔๖	๑๒.๕	๑๒.๔	๑๒.๕	๑๒.๔๖	๑๒๓.๔๙๙๑
๘	๑๘.๕	๑๘.๘	๑๘.๗	๑๘.๖๖	๑๓	๑๒.๙	๑๓.๐	๑๒.๙๖	๑๐.๘	๑๐.๗	๑๐.๘	๑๐.๗๕	๙๔.๕๘๐๑๑
๙	๒๐	๒๐.๒	๒๐.๑	๒๐.๐๙	๑๓.๖	๑๓.๕	๑๓.๖	๑๓.๕๖	๑๑.๓	๑๑.๔	๑๑.๓	๑๑.๓๔	๘๘.๒๗๔๓๔
๑๐	๒๐.๕	๒๐.๔	๒๐.๓	๒๐.๔๐	๑๓.๘	๑๓.๘	๑๓.๘	๑๓.๘๐	๑๒.๓	๑๒.๑	๑๒.๒	๑๒.๒๑	๖๒.๓๐๙๓๗
๑๑	๒๐.๕	๒๐	๒๐.๓	๒๐.๒๘	๑๔	๑๔.๒	๑๔.๑	๑๔.๐๙	๑๑.๒	๑๑	๑๑.๑	๑๑.๑๑	๑๑๗.๔๗๙๕
๑๒	๑๙.๖	๑๙.๘	๑๙.๕	๑๙.๖๒	๑๒.๗	๑๒.๘	๑๒.๗	๑๒.๗๔	๑๑.๕	๑๑.๓	๑๑.๔	๑๑.๔๑	๕๔.๓๖๐๑๔

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ๑ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยแพหญ้าแฝก ที่ระยะเวลาต่างกัน

	๙ (๗๖.๙๔)	๑๒ (๗๖.๘๙)	๑๐ (๗๖.๐๓)	๑๑ (๗๕.๒๐)	๘ (๗๔.๒๔)	๖ (๗๓.๒๑)	๕ (๗๓.๐๔)	๔ (๗๒.๗๕)	๗ (๗๒.๒๓)	๓ (๗๐.๘๙)	๒ (๖๕.๙๖)	๑ (๖๔.๖๑)
๙ (๗๖.๙๔)		๐.๐๔๖๗	๐.๙๐๖๗	๑.๗๔๐๐	๒.๖๙๖๗	๓.๗๓๓๓*	๓.๙๐๐๐*	๔.๑๘๖๗*	๔.๗๑๐๐*	๖.๐๕๐๐*	๑๐.๙๗๖๗*	๑๒.๓๒๖๗*
๑๒ (๗๖.๘๙)			๐.๘๖๐๐	๑.๖๙๓๓	๒.๖๕๐๐	๓.๖๘๖๗*	๓.๘๕๓๓*	๔.๑๔๐๐*	๔.๖๖๓๓*	๖.๐๐๓๓*	๑๐.๙๓๐๐*	๑๒.๒๘๐๐*
๑๐ (๗๖.๐๓)				๐.๘๓๓๓	๑.๗๙๐๐	๒.๘๒๖๗	๒.๙๙๓๓*	๓.๒๘๐๐*	๓.๘๐๓๓	๕.๑๔๓๓*	๑๐.๐๗๐๐*	๑๑.๔๒๐๐*
๑๑ (๗๕.๒๐)					๐.๙๕๖๗	๑.๙๙๓๓	๒.๑๖๐๐	๒.๔๔๖๗	๒.๙๗๐๐*	๔.๓๑๐๐*	๙.๒๓๖๗*	๑๐.๕๘๖๗*
๘ (๗๔.๒๔)						๑.๐๓๖๗	๑.๒๐๓๓	๑.๔๙๐๐	๒.๐๑๓๓	๓.๓๕๓๓*	๘.๒๘๐๐*	๙.๖๓๐๐*
๖ (๗๓.๒๑)							๐.๑๖๖๗	๐.๔๕๓๓	๐.๙๗๖๗	๒.๓๑๖๗	๗.๒๔๓๓*	๘.๕๙๓๓*
๕ (๗๓.๐๔)								๐.๒๘๖๗	๐.๘๑๐๐	๒.๑๕๐๐	๗.๐๗๖๗*	๘.๔๒๖๗*
๔ (๗๒.๗๕)									๐.๕๒๓๓	๑.๘๖๓๓	๖.๗๙๐๐*	๘.๑๔๐๐*
๗ (๗๒.๒๓)										๑.๓๔๐๐	๖.๒๖๖๗*	๗.๖๑๖๗*
๓ (๗๐.๘๙)											๔.๙๒๖๗*	๖.๒๗๖๗*
๒ (๖๕.๙๖)												๑.๓๕๐๐
๑ (๖๔.๖๑)												

ตารางที่ ๒ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการปรับสภาพพีเอชรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยแพหญ้าแฝก ที่ระยะเวลาต่างกัน

	๑๒ (๑๒.๘๙)	๗ (๑๒.๔๑)	๙ (๑๒.๔๐)	๑๐ (๑๒.๓๖)	๘ (๑๑.๗๗)	๑๑ (๑๑.๒๖)	๓ (๙.๗๘)	๖ (๙.๔๒)	๔ (๙.๑๕)	๕ (๙.๐๔)	๒ (๕.๙๗)	๑ (๕.๖๐)
๑๒ (๑๒.๘๙)		๐.๔๘๐๐	๐.๔๘๖๗	๐.๕๒๖๗	๑.๑๒๓๓	๑.๖๒๖๗	๓.๑๑๓๓	๓.๔๗๓๓	๓.๗๔๓๓	๓.๘๕๐๐	๖.๙๒๓๓*	๗.๒๘๖๗*
๗ (๑๒.๔๑)			๐.๐๐๖๗	๐.๐๔๖๗	๐.๖๔๓๓	๑.๑๔๖๗	๒.๖๓๓๓	๒.๙๙๓๓	๓.๒๖๓๓	๓.๓๗๐๐	๖.๔๔๓๓*	๖.๘๐๖๗*
๙ (๑๒.๔๐)				๐.๐๔๐๐	๐.๖๓๖๗	๑.๑๔๐๐	๒.๖๒๖๗	๒.๙๘๖๗	๓.๒๕๖๗	๓.๓๖๓๓	๖.๔๓๖๗*	๖.๘๐๐๐*
๑๐ (๑๒.๓๖)					๐.๕๙๖๗	๑.๑๐๐๐	๒.๕๘๖๗	๒.๙๔๖๗	๓.๒๑๖๗	๓.๓๒๓๓	๖.๓๙๖๗*	๖.๗๖๐๐*
๘ (๑๑.๗๗)						๐.๕๐๓๓	๑.๙๙๐๐	๒.๓๕๐๐	๒.๖๒๐๐	๒.๗๒๖๗	๕.๘๐๐*	๖.๑๖๓๓*
๑๑ (๑๑.๒๖)							๑.๔๘๖๗	๑.๘๔๖๗	๒.๑๑๖๗	๒.๒๒๓๓	๕.๒๙๖๗*	๕.๖๖๐๐*
๓ (๙.๗๘)								๐.๓๖๐๐	๐.๖๓๐๐	๐.๗๓๖๗	๓.๘๑๐๐	๔.๑๗๓๓
๖ (๙.๔๒)									๐.๒๗๐๐	๐.๓๗๖๗	๓.๔๕๐๐	๓.๘๑๓๓
๔ (๙.๑๕)										๐.๑๐๖๗	๓.๑๘๐๐	๓.๕๔๓๓
๕ (๙.๐๔)											๓.๐๗๓๓	๓.๔๓๖๗
๒ (๕.๙๗)												๐.๓๖๓๓
๑ (๕.๖๐)												

ตารางที่ ๓ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยแพหญ้าแฝก ที่ระยะเวลาต่างกัน

	๑๒ (๗๒.๕๑)	๑๑ (๗๑.๙๓)	๑๐ (๖๔.๘๒)	๙ (๖๓.๗๘)	๘ (๖๓.๐๕)	๗ (๖๑.๘๙)	๖ (๖๐.๔๖)	๕ (๕๗.๗๒)	๔ (๕๔.๓๑)	๓ (๒๗.๘๕)	๒ (๑๖.๑๘)	๑ (๑๕.๙๖)
๑๒ (๗๒.๕๑)		๐.๕๗๓๓	๗.๖๘๓๖๗*	๘.๗๒๓๓*	๙.๔๕๖๗*	๑๐.๖๒๐๐*	๑๒.๐๕๐๐*	๑๔.๗๙๐๐*	๑๘.๑๙๖๗*	๔๔.๖๖๐๐*	๕๖.๓๓๐๐*	๕๖.๕๔๖๗*
๑๑ (๗๑.๙๓)			๗.๑๑๓๓*	๘.๑๕๐๐*	๘.๘๘๓๓*	๑๐.๐๔๖๗*	๑๑.๔๗๖๗*	๑๔.๒๑๖๗*	๑๗.๖๒๓๓*	๔๔.๐๘๖๗*	๕๕.๗๕๖๗*	๕๕.๙๗๓๓*
๑๐ (๖๔.๘๒)				๑.๐๓๖๗	๑.๗๗๐๐	๒.๙๓๓๓*	๔.๓๖๓๓*	๗.๑๐๓๓*	๑๐.๕๑๐๐*	๓๖.๙๗๓๓*	๔๘.๖๔๓๓*	๔๘.๘๖๐๐*
๙ (๖๓.๗๘)					๐.๗๓๓๓	๑.๘๙๖๗*	๓.๓๒๖๗*	๖.๐๖๖๗*	๙.๔๗๓๓*	๓๕.๙๓๖๗*	๔๗.๖๐๖๗*	๔๗.๘๒๓๓*
๘ (๖๓.๐๕)						๑.๑๖๓๓	๒.๕๙๓๓*	๕.๓๓๓๓*	๘.๗๔๐๐*	๓๕.๒๐๓๓*	๔๖.๘๗๓๓*	๔๗.๐๙๐๐*
๗ (๖๑.๘๙)							๑.๔๓๐๐	๔.๑๗๐๐*	๗.๕๗๖๗*	๓๕.๐๔๐๐*	๔๕.๗๑๐๐*	๔๕.๙๒๖๗*
๖ (๖๐.๔๖)								๒.๗๔๐๐*	๖.๑๔๖๗*	๓๒.๖๑๐๐*	๔๔.๒๘๐๐*	๔๔.๔๙๖๗*
๕ (๕๗.๗๒)									๓.๔๐๖๗*	๒๙.๘๗๐๐*	๔๑.๕๔๐๐*	๔๑.๗๕๖๗*
๔ (๕๔.๓๑)										๒๖.๔๖๓๓*	๓๘.๑๓๓๓*	๓๘.๓๕๐๐*
๓ (๒๗.๘๕)											๑๑.๖๗๐๐*	๑๑.๘๘๖๗*
๒ (๑๖.๑๘)												๐.๒๑๖๗
๑ (๑๕.๙๖)												

ตารางที่ ๔ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยแพหญ้าแฝก ที่ระยะเวลาต่างกัน

	๑๒ (๔๓.๐๕)	๑๑ (๔๒.๐๒)	๑๐ (๔๐.๔๒)	๙ (๓๓.๒๔)	๘ (๓๓.๑๙)	๗ (๓๒.๙๗)	๖ (๓๒.๘๙)	๕ (๓๑.๒๕)	๔ (๓๐.๙๘)	๓ (๒๙.๓๕)	๒ (๒๙.๑๔)	๑ (๒๖.๙๙)
๑๒ (๔๓.๐๕)		๑.๐๓๓๓	๒.๖๒๖๗*	๙.๘๐๖๗*	๙.๘๖๓๓*	๑๐.๐๘๓๓*	๑๐.๑๕๖๗*	๑๑.๘๐๓๓*	๑๒.๐๗๓๓*	๑๓.๖๙๖๗*	๑๓.๙๑๓๓*	๑๖.๐๖๓๓*
๑๑ (๔๒.๐๒)			๑.๕๙๓๓	๘.๗๗๓๓*	๘.๘๓๐๐*	๙.๐๕๐๐*	๙.๑๒๓๓*	๑๐.๗๗๐๐*	๑๑.๐๔๐๐*	๑๒.๖๖๓๓*	๑๒.๘๘๐๐*	๑๕.๐๓๐๐*
๑๐ (๔๐.๔๒)				๗.๑๘๐๐*	๗.๒๓๖๗*	๗.๔๕๖๗*	๗.๕๓๐๐*	๙.๑๗๖๗*	๙.๔๔๖๗*	๑๑.๐๗๐๐*	๑๑.๒๘๖๗*	๑๓.๔๓๖๗*
๙ (๓๓.๒๔)					๐.๐๕๖๗	๐.๒๗๖๗	๐.๓๕๐๐	๑.๙๙๖๗*	๒.๒๖๖๗*	๓.๘๙๐๐*	๔.๑๐๖๗*	๖.๒๕๖๗*
๘ (๓๓.๑๙)						๐.๒๒๐๐	๐.๒๙๓๓	๑.๙๔๐๐*	๒.๒๑๐๐*	๓.๘๓๓๓*	๔.๐๕๐๐*	๖.๒๐๐๐*
๗ (๓๒.๙๗)							๐.๐๗๓๓	๑.๗๒๐๐	๑.๙๙๐๐*	๓.๖๑๓๓*	๓.๘๓๐๐*	๕.๙๘๐๐*
๖ (๓๒.๘๙)								๑.๖๔๖๗	๑.๙๑๖๗	๓.๕๔๐๐*	๓.๗๕๖๗*	๕.๙๐๖๗*
๕ (๓๑.๒๕)									๐.๒๗๐๐	๑.๘๙๓๓	๒.๑๑๐๐*	๔.๒๖๐๐*
๔ (๓๐.๙๘)										๑.๖๒๓๓	๑.๘๔๐๐	๓.๙๙๐๐*
๓ (๒๙.๓๕)											๐.๒๑๖๗	๒.๓๖๖๗*
๒ (๒๙.๑๔)												๒.๑๕๐๐*
๑ (๒๖.๙๙)												

ตารางที่ ๕ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยแพหญ้าแฝก ที่ระยะเวลาต่างกัน

	๑๒ (๘๗.๔๖)	๑๑ (๘๖.๓๕)	๑๐ (๘๕.๓๕)	๙ (๗๙.๕๒)	๘ (๗๕.๘๐)	๗ (๖๙.๒๙)	๖ (๕๙.๑๙)	๕ (๕๐.๐๐)	๔ (๔๒.๔๙)	๓ (๓๗.๗๒)	๒ (๒๓.๕๓)	๑ (๑๙.๓๐)
๑๒ (๘๗.๔๖)		๑.๑๑๐๐	๒.๑๑๓๓	๗.๙๓๖๗	๑๑.๖๖๐๐	๑๘.๑๗๐๐	๒๘.๑๗๐๐*	๓๗.๕๖๐๐*	๔๔.๙๗๐๐*	๔๙.๗๔๓๓*	๖๓.๙๒๖๗*	๖๘.๑๕๖๗*
๑๑ (๘๖.๓๕)			๑.๐๐๓๓	๖.๘๒๖๗	๑๐.๕๕๐๐	๑๗.๐๖๐๐	๒๗.๑๖๐๐*	๓๖.๓๕๐๐*	๔๓.๘๖๐๐*	๔๘.๖๓๓๓*	๖๒.๘๑๖๗*	๖๗.๐๔๖๗*
๑๐ (๘๕.๓๕)				๕.๘๒๓๓	๙.๕๔๖๗	๑๖.๐๕๖๗	๒๖.๑๕๖๗*	๓๕.๓๔๖๗*	๔๒.๘๕๖๗*	๔๗.๖๓๐๐*	๖๑.๘๑๓๓*	๖๖.๐๔๓๓*
๙ (๗๙.๕๒)					๓.๗๒๓๓๓	๑๐.๒๓๓๓	๒๐.๓๓๓๓	๒๙.๕๒๓๓*	๓๗.๐๓๓๓*	๔๑.๘๐๖๗*	๕๕.๙๙๐๐*	๖๐.๒๒๐๐*
๘ (๗๕.๘๐)						๖.๕๑๐๐	๑๖.๖๑๐๐	๒๕.๘๐๐๐*	๓๓.๓๑๐๐*	๓๘.๐๘๓๓*	๕๒.๒๖๖๗*	๕๖.๔๙๖๗*
๗ (๖๙.๒๙)							๑๐.๑๐๐๐*	๑๙.๒๙๐๐*	๒๖.๘๐๐๐*	๓๑.๕๗๓๓*	๔๕.๗๕๖๗*	๔๙.๙๘๖๗*
๖ (๕๙.๑๙)								๙.๑๙๐๐	๑๖.๗๐๐๐	๒๑.๔๗๓๓	๓๕.๖๕๖๗*	๓๙.๘๘๖๗*
๕ (๕๐.๐๐)									๗.๕๑๐๐	๑๒.๒๘๓๓	๒๖.๔๖๖๗*	๓๐.๖๙๖๗*
๔ (๔๒.๔๙)										๔.๗๗๓๓	๑๘.๙๕๖๗	๒๓.๑๘๖๗*
๓ (๓๗.๗๒)											๑๔.๑๘๓๓	๑๘.๔๑๓๓
๒ (๒๓.๕๓)												๔.๒๓๐๐
๑ (๑๙.๓๐)												

ตารางที่ ๖ข ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีรายคู่ของการบำบัดน้ำเสียด้วยแพหญ้าแฝก ที่ระยะเวลาต่างกัน

	๑๒ (๓๕.๕๔)	๘ (๓๕.๒๙)	๙ (๓๔.๙๓)	๑๑ (๓๓.๓๗)	๗ (๓๓.๓๓)	๔ (๓๒.๓๘)	๑๐ (๓๑.๔๖)	๕ (๕๐.๐๐)	๖ (๒๙.๐๑)	๒ (๒๗.๐๔)	๓ (๒๖.๘๑)	๑ (๒๖.๑๓)
๑๒ (๓๕.๕๔)		๐.๒๕๐๐	๐.๖๑๓๓	๒.๑๖๖๗	๒.๒๑๐๐	๓.๑๕๖๗	๔.๐๘๐๐	๕.๑๕๐๐	๖.๕๓๓๓	๘.๕๐๓๓*	๘.๗๓๐๐*	๙.๔๑๓๓*
๘ (๓๕.๒๙)			๐.๓๖๓๓	๑.๙๑๖๗	๑.๙๖๐๐	๒.๙๐๖๗	๓.๘๓๐๐	๔.๙๐๐๐	๖.๒๘๓๓	๘.๒๕๓๓*	๘.๔๘๐๐*	๙.๑๖๓๓*
๙ (๓๔.๙๓)				๑.๕๕๓๓	๑.๕๙๖๗	๒.๕๔๓๓	๓.๔๖๖๗	๔.๕๓๖๗	๕.๙๒๐๐	๗.๘๙๐๐*	๘.๑๑๖๗*	๘.๘๐๐*
๑๑ (๓๓.๓๗)					๐.๐๔๓๓	๐.๙๙๐๐	๑.๙๑๓๓	๒.๙๘๓๓	๔.๓๖๖๗	๖.๓๓๖๗	๖.๕๖๓๓	๗.๒๔๖๗
๗ (๓๓.๓๓)						๐.๙๔๖๗	๑.๘๗๐๐	๒.๙๔๐๐	๔.๓๒๓๓	๖.๒๙๓๓	๖.๕๒๐๐	๗.๒๐๓๓
๔ (๓๒.๓๘)							๐.๙๒๓๓	๑.๙๙๓๓	๓.๓๗๖๗	๕.๓๔๖๗	๕.๕๗๓๓	๖.๒๕๖๗
๑๐ (๓๑.๔๖)								๑.๐๗๐๐	๒.๔๕๓๓	๔.๔๒๓๓	๔.๖๕๐๐	๕.๓๓๓๓
๕ (๕๐.๐๐)									๑.๓๘๓๓	๓.๓๕๓๓	๓.๕๘๐๐	๔.๒๖๓๓
๖ (๒๙.๐๑)										๑.๙๗๐๐	๒.๑๙๖๗	๒.๘๘๐๐
๒ (๒๗.๐๔)											๐.๒๒๖๗	๐.๙๑๐๐
๓ (๒๖.๘๑)												๐.๖๘๓๓
๑ (๒๖.๑๓)												

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล นางขนิษฐา เจริญลาภ

Mrs Khanittha Charoenlarp

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์

ที่อยู่ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ

๒ ถนนนางลิ้นจี่ ทุ่งมหาเมฆ สาทร กรุงเทพฯ ๑๐๑๒๐

E.mail Khanitc@gmail.com

ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	สถานศึกษา	สาขาวิชาเอก	ปริญญา	ปีที่จบ
ปริญญาตรี	ม.ศิลปากร	เคมี	วท.บ.	๒๕๒๙
ปริญญาโท	ม.เกษตรศาสตร์	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม	วท.ม.	๒๕๓๙

หัวหน้าโครงการวิจัย

(๑) การกำจัดสีดิสเพิร์ส สีไดเร็กท์ และสีรีแอคทีฟจากน้ำเสียย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี (งบประมาณแผ่นดิน พ.ศ.๒๕๔๔)

(๒) การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากโรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอคติเว็ดเต็ดสลัดจ์และระบบตกตะกอนทางเคมี (งบประมาณแผ่นดิน พ.ศ.๒๕๔๕)

(๓) อิทธิพลของยีสต์ต่อการลอกแป้งด้วยเอนไซม์ (สกว. พ.ศ.๒๕๔๖)

(๔) การพัฒนาการจัดการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมสี (งบประมาณแผ่นดิน พ.ศ.๒๕๔๗)

(๕) การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของห้างหุ้นส่วนจำกัด เจริญชัยการย้อมให้อยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งโดยมีค่าใช้จ่ายลดลง (สกว. พ.ศ. ๒๕๔๗)

(๖) การบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับโรงงานฟอกย้อม (งบผลประโยชน์พ.ศ. ๒๕๔๘)

(๗) การนำน้ำย้อมกลับมาใช้ใหม่โดยการกำจัดสีด้วยโอโซน (งบประมาณแผ่นดินพ.ศ. ๒๕๔๙)

(๘) ผลของโลหะในน้ำต่อกระบวนการย้อม (งบประมาณแผ่นดินพ.ศ. ๒๕๕๐)

(๙) ผลของโลหะไอออนในน้ำต่อกระบวนการฟอกผ้าฝ้ายถัก(งบผลประโยชน์ พศ. ๒๕๕๐)

(๑๐) การอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรป่าชายเลนอำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี (งบผลประโยชน์ พศ. ๒๕๕๐)

(๑๑) การนำน้ำย้อมกลับมาใช้โดยการกำจัดสีด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี (งบประมาณแผ่นดินพ.ศ. ๒๕๕๑)

(๑๒) การบำบัดน้ำเสียโรงงานทอผ้าด้วยเครื่องวอเตอร์เจ็ตเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (งบประมาณแผ่นดินพ.ศ. ๒๕๕๒)

(๑๓) ประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก (งบประมาณแผ่นดินพ.ศ. ๒๕๕๓)

(๑๔) การบำบัดน้ำเสียอย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วยเครื่องจักรชีวภาพ (งบประมาณทุนวิจัยนวมินทร์ พ.ศ. ๒๕๕๓)

(๑๕) การมีส่วนร่วมระหว่างโรงเรียนและชุมชนในการอนุรักษ์แหล่งน้ำ (งบรายได้ พศ. ๒๕๕๔)

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ (สกว. พ.ศ.๒๕๔๕)

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

ขนิษฐา เจริญลาภ. ๒๐๐๑. การกำจัดสีดิสเพิร์ส สีไดเร็กท์ และสีรีแอคทีฟ จากน้ำทิ้งย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. Textile Journal:Colour way, ๗(๓๔): ๓๒-๓๘.

บุญศรี คู่สุขธรรม, ขนิษฐา เจริญลาภ, และสมชาย อุดร. ๒๐๐๓. การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ตอน ๑. Textile Journal:Colour way, ๘(๔๕): ๑๘-๒๐.

บุญศรี คู่สุขธรรม, ขนิษฐา เจริญลาภ, และสมชาย อุดร. ๒๐๐๓. การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ . Textile Journal:Colour way, ๘(๔๖): ๔๗-๕๐.

ขนิษฐา เจริญลาภ. ๒๐๐๓. ระบบน้ำใช้ในอุตสาหกรรม. Textile Journal:Colour way, ๙(๔๗) : ๒๓-๒๖

ขนิษฐา เจริญลาภ. ๒๐๐๓. แนวทางการเลือกใช้สารเคมี. Textile Journal:Colour way, ๙(๔๗) : ๖๕-๖๗

ขนิษฐา เจริญลาภ, พริยะ แก่นทับทิม. ๒๐๐๓. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากโรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอคติเว็ดเต็ดสลัดจ์และระบบตกตะกอนทางเคมี . Textile Journal:Colour way, ๑๐(๔๗).

ขนิษฐา เจริญลาภ, พริยะ แก่นทับทิม. ๒๐๐๓. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากโรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอคติเว็ดเต็ดสลัดจ์และระบบตกตะกอนทางเคมี . Textile Journal:Colour way, ๑๑(๔๗).

ขนิษฐา เจริญลาภ. ๒๐๐๕. อิทธิพลของยีสต์ต่อการลอกแป้งด้วยเอนไซม์. Textile Journal:Colour way, ๑๐(๔๘): ๔๐-๔๕

ขนิษฐา เจริญลาภ.๒๐๐๕. การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมให้อยู่ในมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมโดยมีค่าใช้จ่ายลดลง Textile Journal:Colour way, ๑๑(๔๘): ๘๔-๘๘.

Charoenlarp, K., Narongchai, C., and Numphet, J., 2009, "Effects of metal in water on cotton knitted bleaching process", The commemorative international conference of the occasion of the 4th cycle anniversary of KMUTT sustainable development to save the earth: Technologies and strategies vision 2050 (SDSE2008), Millennium Hilton Bangkok Hotel, Bangkok, Thailand. 7-9 April 2009, pp 364-366.

Charoenlarp, K and Choyphan,W. 2009. Reuse of dye wastewater through colour removal with electrocoagulation process. As.J. Energy Env. 10(04), 250-260.

Charoenlarp,K., Thongpob,K., Matmoosaw, K., Kaewkhew,W., and Lanchakawin,S. 2010. Treatment of textile industrial wastewater from water jet loom machine, Journal of chemistry and chemical engineering. 4(05), 23-28.