

ประสิทธิภาพของธูปฤาษีและกกกลมในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ แบบไหลผ่านลำต้น

Efficiency of *Thypha angustifolia* Linn. and *Cyperus colymbosus* Rotth. for Domestic Wastewater Treatment by Free Water Surface Constructed Wetland

ลักษมณ ทองอินทร์ (Luksamon Thongin)* ดร.จินดาวลย์ วิบูลย์อุทัย (Dr.Jindawan Wibuloutai)**
ดร.สุรัชย์ อังคนาสายณ์ (Dr.Surachai Angkanasayan)***

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลอง (Experimental Research) มีความมุ่งหมายของการวิจัยเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของพืชธูปฤาษีและกกกลม ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่าน ลำต้น (Constructed Wetland) ใช้น้ำเสียจริงของชุมชนบ้านเว้าที่ปล่อยลงสู่ลำคลองบ้านนามาใช้ในการทดลอง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของธูปฤาษีปลูกรวมกับกกกลม ที่มีระยะเวลาการพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่า BOD, SS, TKN และ TP ตลอดจนศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงค่า DO และ pH ซึ่งระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 3, 6 และ 9 วัน ทั้งนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ในการทดสอบความแตกต่างของข้อมูลทีละดับนัยสำคัญที่ 0.05

ผลการวิจัย พบว่าบ่อทดลองที่มีการปลูกพืชธูปฤาษีและกกกลมนั้น มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้ดีกว่าบ่อควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด และพบว่าระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด BOD, SS, TKN และ TP โดยผลการวิเคราะห์พบว่า การเปลี่ยนแปลง ค่า DO มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการบำบัดค่าดังกล่าว พบว่า ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน มีค่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด กล่าวคือ ประสิทธิภาพการบำบัด BOD มีค่าเท่ากับ 84.88%, SS มีค่าเท่ากับ 91.24%, TKN มีค่าเท่ากับ 67.88%, TP มีค่าเท่ากับ 68.86% และการเปลี่ยนแปลง DO มีค่าเท่ากับ 27.12% อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในทุกหน่วยการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ABSTRACT

The experimental research was conducted to investigate the efficiency of *Thypha angustifolia* Linn. and *Cyperus corymbosus* Rotth. for domestic wastewater treatment by free water surface constructed wetland. The natural influent was driven from Ban Wae community which was flowing to the Banna's canal was used for the treatment. The efficiency of wastewater treatment with *Thypha angustifolia* Linn. and *Cyperus corymbosus* Rotth. at different hydraulic retention time (HRT). The studied parameters were BOD, SS, TKN and TP including the changes of DO and pH at 3, 6 and 9 days with difference HRTs. The analysis of variance was used for

* มหบัณฑิต หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

** อาจารย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

*** อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

testing the data at significant level of 0.05. The result showed that the efficiency of wastewater treatment by *Typha angustifolia* Linn. and *Cyperus corymbosus* Roth. was higher than control (without plants). The HRT had significantly effect on treatment of BOD, SS, TKN and TP including DO. At HRT of 9th day, the highest efficient treatment of 84.88 % BOD, 91.24 % SS, 67.88 % TKN, 68.86 % TP and 27.12 % DO was observed. However, there was no different in pH among the experimental unit.

คำสำคัญ : ระบบบึงประดิษฐ์ ฤๅษี กกกลม

Key Words : Constructed wetland, *Typha angustifolia* Linn., *Cyperus corymbosus* Roth.

บทนำ

ชุมชนเป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสียที่มีสัดส่วนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียจากภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรม น้ำเสียจากบ้านเรือนที่ถูกปล่อยลงสู่ลำน้ำสาธารณะโดยไม่มีการบำบัดจึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำเป็นอย่างมาก (สนธิเดช, 2547)

โดยปกติแล้วแม่น้ำจะมีกระบวนการฟอกตัวหรือทำความสะอาด หากความสกปรกที่เกิดขึ้นไม่มากนัก ในปัจจุบันกิจกรรมที่เกิดจากประชาชนก่อให้เกิดสิ่งสกปรกลงสู่แม่น้ำลำคลอง มากเกินกว่าที่กระบวนการฟอกตัวที่เกิดขึ้นจะทำความสะอาดตามธรรมชาติเองได้ จึงทำให้คุณภาพน้ำต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

การบำบัดน้ำเสียให้ได้ตามคุณภาพมาตรฐานน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาตินั้น ควรประกอบด้วยคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี ชีวภาพของน้ำ มักอาศัยกระบวนการทางชีวภาพเป็นหลัก แต่เนื่องจากน้ำเสียชุมชนจะมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนสูง การบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้คือ ระบบบ่อเติมอากาศ, ระบบเลี้ยงตะกอน เป็นต้น ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งมีค่าใช้จ่ายที่สูง และต้องมีความรู้ความสามารถเป็นอย่างมากในการดูแลระบบนั้น ๆ

สำหรับชุมชนบ้านเว้า อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก โดยกลุ่มงานเวชศาสตร์โรงพยาบาลบ้านนา (2551) ผลการสำรวจข้อมูลสุขภาพประชาชนในหมู่ 5 บ้านเว้า เขตเทศบาล-บ้านนา จำนวน 228 ครัวเรือนพบว่ามีความครัวเรือนที่อาศัยริมคลองบ้านนาทั้งสองฝั่ง

จำนวนทั้งสิ้น 217 ครัวเรือนคิดเป็น 95% ของครัวเรือนที่ปล่อยน้ำทิ้งลงสู่ลำคลองบ้านนา โดยไม่ผ่านการบำบัด ซึ่งในปัจจุบันการรณรงค์เพื่อให้เกิดการอนุรักษ์แหล่งน้ำมีอย่างต่อเนื่อง แต่ยังไม่มีแนวทางหรือการปฏิบัติให้เป็นรูปธรรมที่ชัดเจนในชุมชนหมู่ 5 บ้านเว้า เพราะยังมีอุปสรรคในเรื่องค่าใช้จ่ายและสถานที่สำหรับใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนอย่างเป็นระบบ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการสำรวจบริเวณลำคลองบ้านนา ตลอดลำคลองจะพบปลายท่อน้ำเสียจากครัวเรือนที่ทิ้งน้ำเสียลงสู่ลำคลองโดยตรงจำนวนทั้งสิ้น 16 จุด จากการสำรวจคุณสมบัติน้ำเสียจากบริเวณปลายท่อน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่ลำคลองบ้านนาในเดือนมิถุนายนและเดือนธันวาคม (กลุ่มงานเวชศาสตร์รพ.บ้านนา, 2551-2552) พบว่า ค่า BOD, SS, TKN และ TP อยู่ในช่วง 50.22-125.53, 109.23-242.38, 50.05-136.85 และ 4.82-10.23 mg/l ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานทุกพารามิเตอร์ (30 mg./l, 40 mg./l, 20-85 mg./l และ 8 mg./l) และในช่วงฤดูแล้งน้ำไม่มีการไหลเวียนจะพบว่ามีคราบน้ำมันลอย น้ำมีสีดำ และมีกลิ่นเหม็น

จากปัญหาและข้อจำกัดของชุมชนบ้านเว้าดังกล่าวข้างต้น การเลือกใช้ระบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งเป็นวิธีทางธรรมชาติ เสียค่าใช้จ่ายน้อย ผู้ดูแลไม่จำเป็นต้องมีความเชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมือ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มทัศนียภาพที่สวยงามให้กับพื้นที่และพืชที่ใช้สามารถสร้างรายได้ให้แก่ผู้ดูแลได้อีกด้วยทางหนึ่ง สำหรับพืชที่นิยมใช้เป็นพืชที่ไหลพันน้ำ เช่น ฤๅษี, กกกลม (สุชาติ, 2542) และระยะเวลาที่พืชผลผลิตมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด (ชนิดา และพัฒนา, 2548)

โดยงานวิจัยนี้ จะศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้พืชที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ในการบำบัดน้ำเสียจริง ของชุมชนบ้านเว้า ที่ปล่อยลงสู่ลำคลองบ้านนา อำเภอบ้านนา และศึกษาประสิทธิภาพของ การใช้พืช 2 ชนิด คือ ฤๅษี และ กกกลม ในระบบบึงประดิษฐ์ แบบน้ำไหลผ่านลำต้น : FWS นอกจากนี้ยังมีการ ศึกษาถึงระยะเวลาที่กักพืชราก (HTR) ที่ 3, 6 และ 9 วัน เพื่อที่จะนำไปเป็นแนวทางในการปรับปรุง และประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาลักษณะของน้ำเสียจริงของ ชุมชนบ้านเว้าที่ปล่อยลงสู่ลำคลองบ้านนา ในรูปของ ค่าความสกปรกซึ่งประกอบด้วย บีโอดี (BOD) ของแข็งแขวนลอย (SS) ไนโตรเจน (TKN) ฟอสฟอรัส (TP)
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียจากน้ำเสียจริงของชุมชนบ้านเว้า ที่ปล่อยลงสู่ลำคลองบ้านนาของต้นฤๅษีและ กกกลม ในการลดปริมาณ บีโอดี (BOD), ของแข็งแขวนลอย (SS), ไนโตรเจน (TKN), ฟอสฟอรัส (TP)
3. เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกัก น้ำเสียในระบบ (Hydraulic retention time : HRT) ที่เหมาะสมกับระบบบึงประดิษฐ์แบบ ไหลผ่านลำต้น

วิธีการศึกษา

เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ในการปลูก พืชแบบผสม เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนระหว่างบ่อทดลองที่มีพืช กกกลม, ฤๅษีและบ่อควบคุมที่ไม่มีพืช แต่ละระยะ เวลาที่กักพืชรากต่าง ๆ กัน โดยใช้สถิติ t-test และ ทดสอบความแตกต่างของข้อมูลในแต่ละปัจจัยใช้วิธี วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) โดยการใช้ F-test ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทำการศึกษาตั้งแต่เดือน มีนาคม-สิงหาคม 2553 รวมระยะเวลา 6 เดือน

วิธีการดำเนินการวิจัย

- ก่อสร้างชุดบ่อทดลองขนาดเล็ก (Pilot scale) ทำจากอิฐบล็อก ปูด้วยพลาสติก PE บ่อมีขนาด กว้าง 0.5 เมตร ยาว 2 เมตร ลึก 0.6 เมตร จำนวน 12 บ่อ บ่อติดกันใช้ผนังร่วมกันเป็นระบบน้ำไหลผ่านลำต้น
- ถึงกระจายน้ำเสียเป็นถังเก็บน้ำขนาดใหญ่ น้ำในถังเพียงพอต่อการทดลองแต่ละรอบการบำบัด ถึงกระจายน้ำมีท่อน้ำที่กันถัง ควบคุมด้วยวาล์ว ปรับอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่บ่อทดลอง ในอัตราการไหลคงที่
- ท่อน้ำเข้า เป็นท่อพีวีซี เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้วมีวาล์วเพื่อควบคุมอัตราการไหลปล่อยน้ำผ่าน ท่อพีวีซีขนาด 1 1/2 นิ้ว*0.50 เมตร ตัดกลางตามแนวยาวและฉลุฟันปลาระยะห่าง 3 ซม. สำหรับรองรับน้ำ ที่ไหลเข้าสู่ระบบโดย ติดบริเวณตามขวางภายในของ บ่อสูงจากพื้น 0.50 เมตร
- ท่อน้ำออกเป็นท่อพีวีซีขนาด 1 1/2 นิ้ว*0.50 เมตร ตัดกลางตามแนวยาวสำหรับรองรับ น้ำที่ไหลล้นออกจากบ่อโดย ติดบริเวณตามขวาง ภายนอกของบ่อสูงจากพื้น 0.50 เมตร
- ตัวกลางใส่กรวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 2.5-3 ซม. ลงรองพื้นในบ่อและเกลี่ยให้ สม่ำเสมอทั่วบ่อให้หนา 15 ซม., ใส่ดินผสมทราย อัตราส่วน (ดิน 3 ส่วน : ทราย 1 ส่วน) ลงในบ่อและ เกลี่ยให้สม่ำเสมอทั่วบ่อให้หนา 20 ซม. การทดลองนี้ ควบคุมสภาพธรรมชาติตั้งนั้นจึงต้องสร้างหลังคา กัน น้ำฝน โดยการใช้พลาสติกเป็นหลังคาลักษณะสูงโปร่ง เพื่อให้แสงแดดส่องผ่านได้และอากาศถ่ายเทสะดวก เพราะต้องการให้หลังคาคลุมฝน แต่ต้องไม่เป็น ตัวขัดขวางแสงต่อการเจริญเติบโตของพืช
- พืชที่ใช้ในการทดลอง**
- พืชที่ใช้ในการทดลอง คือ ฤๅษีและ กกกลม พืชแต่ละชนิดนั้นจะคัดเลือกพืชที่มีอายุ ใกล้เคียงกันสามารถหาได้จากพื้นที่ชุ่มน้ำตาม ธรรมชาติทั่วไป ถอนหรือขุดต้นพืชที่จะใช้ทำท่อน้ำ จากแหล่งที่จัดหาไว้ ตัดแต่งต้นและรากต้นพืชที่ สมบูรณ์ต้นฤๅษีมีความสูง 50 ซม. และ ต้นกกกลม มีความสูง 30 ซม.นำไปปักชำในที่เตรียมไว้ ดูแลรักษา

ด้วยน้ำเสียเป็นเวลา 3 สัปดาห์เพื่อให้ต้นพืชปรับสภาพตนเองก่อนนำไปปลูก

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียจริงของชุมชนบ้านเว้าที่ปล่อยลงสู่ลำคลองบ้านนา อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

- ตัวแปรอิสระ ต้นธูปฤาษีและต้นกกกลม, ระยะเวลาการพักยักชลศาสตร์ 3, 6, 9 วัน

- ตัวแปรตาม ค่าพารามิเตอร์ของ บีโอดี (BOD), ไนโตรเจน (TKN), ของแข็งแขวนลอย (SS), ฟอสฟอรัส (TP), ดีโอ (DO), ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ดำเนินการทดลอง

ในการศึกษามีการทดลองแบบ 3 ซ้ำ มีจำนวนหน่วยทดลองทั้งหมด 9 หน่วยการทดลอง (Experimental unit) บ่อควบคุม 3 บ่อ (Control unit) โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 รอบ แต่ละรอบมี 3 หน่วย-การทดลอง และ 1 บ่อควบคุม



ภาพที่ 1 ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการทดลอง

- ปลูกพืช โดยเติมน้ำใส่ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม และช่วงเวลานาน 1 สัปดาห์ เพื่อให้เนื้อดินในแปลงเกิดความชุ่มชื้นและนํ้าจะได้ปลูกพืชได้สะดวกมากขึ้น แล้วทำการปลูกกกกล่ม และธูปฤาษี ลงในบ่อที่สร้างขึ้นโดยให้มีระยะห่างระหว่างต้น 20 ซม. ระยะห่างระหว่างแถว 25 ซม. แบบสลับแถวและแนวของพืชเพื่อให้มีการเปลี่ยนทิศทางไหลของน้ำและเพิ่มการกระจายตัวของน้ำในระบบ และชะลอการไหลของน้ำทำให้เกิดการตกตะกอน มีคุณสมบัติในการลดค่า SS แล้วดูแลอนุบาลด้วยน้ำเสียเพื่อให้พืชสามารถปรับตัวได้ประมาณ 16 สัปดาห์

- เมื่อครบกำหนดเวลาอนุบาลต้นกล้าระบายน้ำออกจากบ่อทดลองทุกบ่อ แล้วปล่อยน้ำเสียจากถังแบ่งน้ำเสียเข้าสู่บ่อทดลองโดยการเปิดวาล์วน้ำ น้ำเสียจะไหลมาตามท่อเข้ามาในบ่อทดลองอย่างต่อเนื่อง (Continuous influent flow) เพื่อให้มีระยะเวลาเก็บกัก 3, 6, และ 9 วัน ดังนั้นน้ำเสียจะมีอัตราการไหลประมาณ 50, 25, 16.67 ลิตร / วัน ตามลำดับ โดยปล่อยน้ำเสียไหลไปตามผิวหน้าดินจนได้ระดับน้ำที่สูงจากผิวดินชั้นบน 15 ซม.

- ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่จุดน้ำเสียที่เข้าบ่อทดลองในวันแรกของการเริ่มต้นปล่อยน้ำเข้าสู่บ่อทดลองจำนวน 1 ตัวอย่าง/รอบการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาค่า BOD, SS, TKN, TP และเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดออกจากระบบโดยเก็บตัวอย่างน้ำในวันสุดท้ายของระยะกักพักยักชลศาสตร์ 3, 6 และ 9 วัน และบ่อควบคุมจำนวน 3 ตัวอย่าง

ผลการศึกษา

1. ลักษณะของน้ำเสียจริงในการทดลอง น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบเป็นน้ำเสียชุมชนที่ไม่ได้ผ่านการบำบัด ดัง ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ

คุณลักษณะ	หน่วย	ช่วงของน้ำเสีย	ค่าเฉลี่ย
BOD	(mg/l)	1.50-17.00	7.27
SS	(mg/l)	50.70-162.50	91.67
TP	(mg/l)	0.29-0.44	0.36
TKN	(mg/l)	1.50-2.80	2.17

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ค่า BOD, SS ไม่เกิน 30 และ 40 mg/l ตามลำดับ

ส่วนคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ พบว่า มีสีน้ำตาลเข้ม มีสารแขวนลอยจำนวนมากและมีกลิ่นเหม็น เมื่อผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านลำต้นที่ระยะเวลากักพักยักชลศาสตร์ 3, 6 และ 9 วัน ผลการบำบัดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด (ทดลอง)

HRT	คุณลักษณะ หน่วย (mg/l)	ช่วงของน้ำเสีย	ค่าเฉลี่ย
3 วัน	BOD	0.57-1.67	1.15
	SS	13.61-17.27	15.57
	TP	0.13-0.25	0.18
	TKN	0.87-1.45	1.13
	BOD	0.47-0.87	0.80
6 วัน	SS	8.50-14.43	10.84
	TP	0.10-0.22	0.16
	TKN	0.80-1.26	0.98
	BOD	0.30-0.50	0.43
9 วัน	SS	4.60-6.90	5.91
	TP	0.09-0.14	0.11
	TKN	0.47-0.93	0.70

ส่วนคุณภาพน้ำของบ่อควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 3, 6 และ 9 วัน ผลการบำบัดดังตารางที่ 3

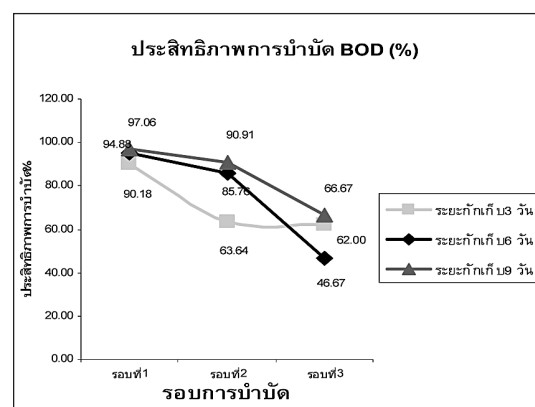
ตารางที่ 3 คุณลักษณะน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด (ควบคุม)

HRT	คุณลักษณะ หน่วย (mg/l)	ช่วงของน้ำเสีย	ค่าเฉลี่ย
	BOD	1.00-2.80	1.90
	SS	19.50-23.80	21.02
	TP	0.17-0.26	0.20
	TKN	1.10-1.82	1.41
	BOD	0.50-0.90	0.77
6 วัน	SS	13.00-18.30	16.10
	TP	0.13-0.32	0.21
	TKN	1.00-1.40	1.13
	BOD	0.20-1.10	0.73
9 วัน	SS	7.30-9.50	8.27
	TP	0.13-0.16	0.14
	TKN	0.60-1.00	0.80

2. ลักษณะทั่วไปของพืช ฤๅษีมีการเจริญเติบโตทั้งในด้านความสูง การเพิ่มของจำนวนใบ มีการแตกหน่อและการแตกแขนงของรากฝอยเพิ่มมากขึ้น เริ่มต้นการทดลอง ความสูงของ ต้นฤๅษีประมาณ 40-50 ซม. เมื่อสิ้นสุดการทดลองความสูงอยู่ในช่วง 185-210 ซม. สำหรับใบเมื่อเริ่มต้นมีจำนวนใบประมาณ 2-4 ใบ เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีจำนวนใบอยู่ในช่วง 8-10 ใบ เมื่อพืชเจริญเติบโตจนมีอายุประมาณ 10-12 สัปดาห์ พบว่า มีช่อดอกเป็นรูปกลมยาว เมื่อแก่จะมีสีน้ำตาลเข้ม แสดงให้เห็นว่าฤๅษีในการทดลองครั้งนี้ยังสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะแวดล้อมที่ทำการศึกษาวิจัย

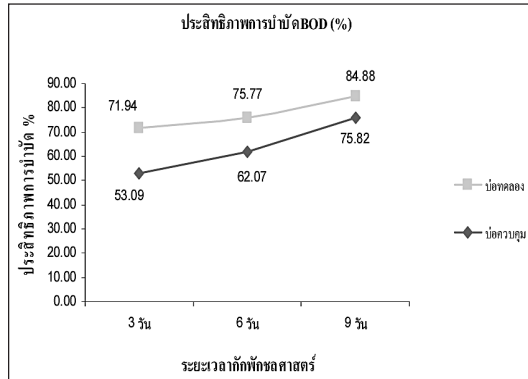
กกกลม พบว่ามีการเจริญเติบโตไม่มากนักทั้งในด้านความสูง และการเพิ่มของใบ ซึ่งความสูงเริ่มต้นการทดลองของต้นกกกลมประมาณ 20 ซม. เมื่อสิ้นสุดการทดลองความสูงอยู่ในช่วง 80-100 ซม. สำหรับจำนวนใบเริ่มต้นการทดลองมีจำนวนใบประมาณ 2-4 ใบ แต่เนื่องจากลักษณะของต้นพืชที่ไม่สูงมากนักเมื่อนำไปปลูกต้องปลูกลึกลงไปในดินประมาณ 3-5 ซม. และระดับน้ำในการทดลองสูง 15 ซม. เมื่อสิ้นสุดการทดลองจึงมีจำนวนใบ อยู่ในช่วง 8-10 ใบและมีลำต้นสามเหลี่ยม มีช่อดอกก้านช่อยาว 15-20 ซม. มีใบประดับรองรับช่อดอก แสดงให้เห็นว่าใบของกกกลมสามารถเจริญเติบโตได้

ประสิทธิภาพการบำบัด BOD เมื่อผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านลำต้น ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ แตกต่างกัน ผลการบำบัด ดังภาพที่ 2



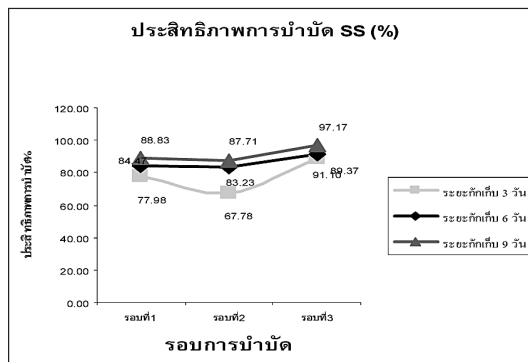
ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย BOD

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด BOD ของบ่อดลองและบ่อควบคุมน้ำ ที่ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 3, 6 และ 9 วัน ผลการบำบัด ดังภาพที่ 3



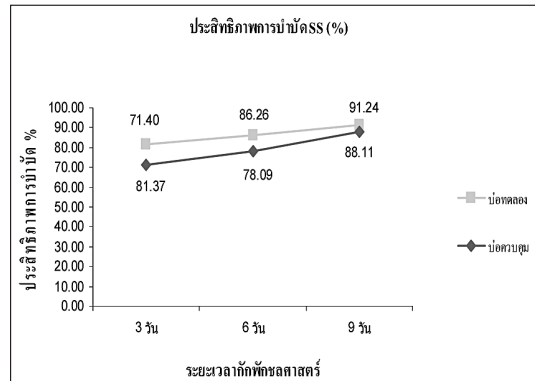
ภาพที่ 3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด BOD

ประสิทธิภาพการบำบัด SS เมื่อผ่านพื้นที่ ชุมน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านลำต้น ที่ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 3, 6 และ 9 วัน ผลการบำบัด ดังภาพที่ 4



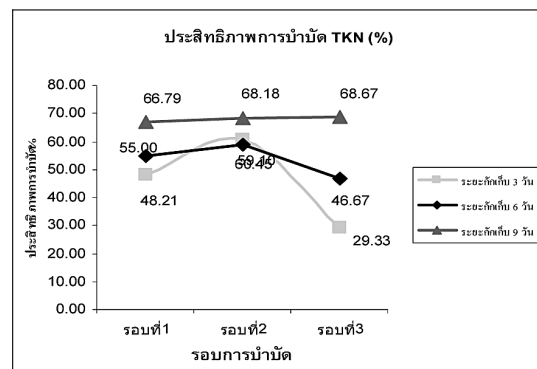
ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย SS

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด SS ของบ่อดลองและบ่อควบคุมน้ำ ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 3, 6 และ 9 วัน ผลการบำบัด ดังภาพที่ 5



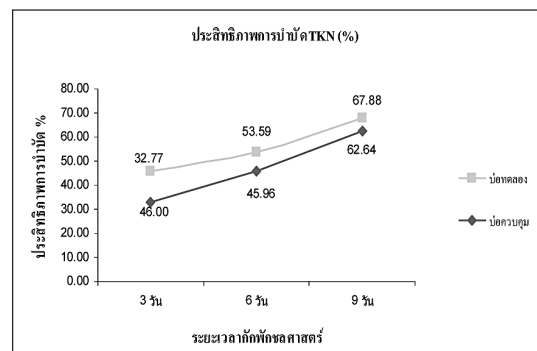
ภาพที่ 5 แสดงเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด SS

ประสิทธิภาพการบำบัด TKN เมื่อผ่านพื้นที่ ชุมน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านลำต้น ที่ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 3, 6 และ 9 วัน ผลการบำบัด ดังภาพที่ 6



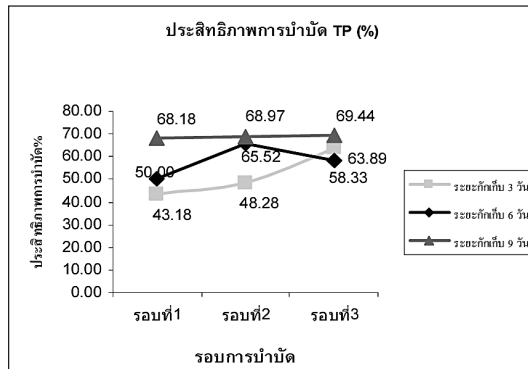
ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย TKN

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TKN ของบ่อดลองและบ่อควบคุมน้ำ ที่ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 3, 6 และ 9 วัน ผลการบำบัด ดังภาพที่ 7



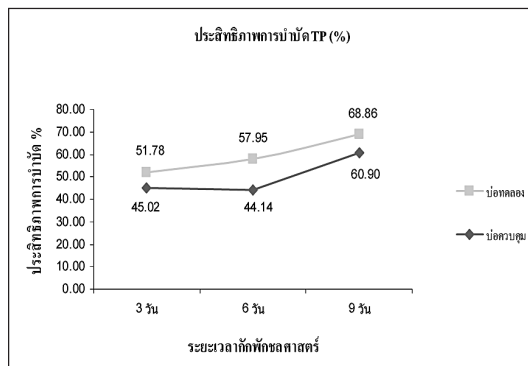
ภาพที่ 7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TKN

ประสิทธิภาพการบำบัด TP เมื่อผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านลำต้น ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 3, 6 และ 9 วัน ผลการบำบัด ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย TP

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TP ของบ่อดลองและบ่อควบคุม ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 3, 6 และ 9 วัน ผลการบำบัด ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TP

ผลการทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการบำบัด BOD, SS, TKN และ TP คุณลักษณะน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด เมื่อผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านลำต้น ที่ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 3, 6 และ 9 วัน พบว่าระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์มีผลต่อค่า BOD, SS, TKN และ TP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P-value < 0.001 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความแตกต่างประสิทธิภาพการบำบัด BOD, SS, TKN และ TP

HRT	คุณลักษณะ	SD	F	P- values
3 วัน	BOD	0.58	21.35	< 0.001
	SS	5.84	61.97	< 0.001
	TKN	0.28	68.475	< 0.001
	TP	0.06	87.059	< 0.001
6 วัน	BOD	0.32	21.35	< 0.001
	SS	3.287	61.97	< 0.001
	TKN	0.24	68.475	< 0.001
	TP	0.07	87.059	< 0.001
9 วัน	BOD	0.13	21.35	< 0.001
	SS	1.755	61.97	< 0.001
	TKN	0.32	68.475	< 0.001
	TP	0.03	87.059	< 0.001

สรุปและวิจารณ์

1. ผลของระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่อประสิทธิภาพการบำบัด และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำด้านอื่นๆ สรุปได้ว่า

1.1 ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด BOD, SS, TKN และ TP ซึ่งจากข้อมูลทางสถิติ ทำให้ทราบว่า ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน ให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงสุดทุกค่า

1.2 ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า DO แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH โดยระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน ให้ค่าเปลี่ยนแปลงค่า DO สูงสุด

1.3 ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน มีผลต่อประสิทธิภาพของการบำบัดค่า BOD, SS, TKN และ TP ระหว่างบ่อควบคุมและบ่อดลองที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ระบบบ่อดลองจะมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าดังกล่าวสูงกว่าบ่อควบคุม

2. การใช้ต้นรูดฤาษีร่วมกับกกกลมในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ สามารถนำมาบำบัด น้ำเสียได้ ซึ่งสังเกตได้จากการที่น้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบทดลอง มีค่า BOD อยู่ในช่วง 1.50 -17.00 mg/l ค่า SS อยู่ในช่วง 50.70-162.50 mg/l ค่า TKN อยู่ในช่วง 1.50-2.80 mg/l และค่า TP อยู่ในช่วง 0.29-0.44 mg/l ซึ่งคุณภาพน้ำเสียดังกล่าวนั้น ต้นรูดฤาษีร่วมกับกกกลม สามารถรองรับและนำมาใช้ในการเจริญเติบโต โดยสังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของจำนวนใบ ราก และขนาดลำต้น และเมื่อพิจารณาถึงค่าคุณภาพน้ำหลังการทดลอง พบว่า มีค่า BOD, TKN, TP และ SS ลดลง และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ และพืชดังกล่าวสามารถเจริญเติบโตได้ดี ในสภาวะ pH ของน้ำเสียจากชุมชนดังกล่าว และคุณภาพน้ำเมื่อผ่านระบบทดลอง พบว่า มีค่า pH อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้

3. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของบ่อทดลองที่มีการปลูกพืช มีค่าสูงกว่าบ่อควบคุมที่ไม่มีการ ปลูกพืช ในทุกพารามิเตอร์ ที่ทำการตรวจวัด ซึ่งได้แก่ ค่า BOD, SS, TKN และ TP นั้นแสดงให้เห็นถึง การใช้ต้นรูดฤาษีร่วม -กับกกกลม ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าไม่ใช้พืช

จากผลการทดลอง พบว่า ค่า BOD ของน้ำเสียเข้าสู่ระบบ มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานโดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.50-17.00 mg/l คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบ พบว่าในระยะเวลาที่กักพักรักษา 3, 6 และ 9 วันนั้น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.15 ,0.71 และ 0.43 mg/l ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะกักพักรักษาเพิ่มขึ้น และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพ น้ำทิ้ง พบว่า น้ำเสียเมื่อผ่านการทดลองโดยมีระยะ เวลาที่กักพักรักษา 3, 6 และ 9 วัน มีค่าเฉลี่ย BOD อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานกำหนดค่า BOD ไว้ไม่เกิน 30 mg/l สอดคล้องกับหลักการกำจัด BOD ในบึงประดิษฐ์ ซึ่งกลไกการกำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งจะตกตะกอนส่วนสาร อินทรีย์ที่ละลายน้ำ จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์สำหรับกระบวนการตกตะกอนของสารอินทรีย์ที่เป็นของ

แข็งสามารถเกิดขึ้นได้รวดเร็วในบึงประดิษฐ์ และจะเกิดขึ้นได้ขึ้นอยู่กับความนิ่งของน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าเมื่อระยะเวลาที่กักพักรักษาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด ค่า BOD เพิ่มขึ้นด้วย ส่วนขบวนการย่อยสลาย จุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบและแหล่งออกซิเจนที่ใช้ในปฏิกิริยากำจัดของเสียโดยจุลินทรีย์ซึ่งส่วนหนึ่งได้มาจากการแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่ผิวน้ำและปริมาณออกซิเจนจะถูกปล่อยผ่านไปยังรากของพืชทั้งนี้ BOD ในน้ำเสียจะถูกบำบัดโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ ออกซิเจนบริเวณรอบ ๆ ต้นพืชก่อนที่จะผ่านเข้าสู่ต้นพืชและเกิดกระบวนการบำบัดโดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน (สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, 2547) แสดงให้เห็นว่า ระบบทดลองดังกล่าว มีความสามารถในการลดค่า BOD ได้

จากการทดลอง พบว่า ค่า SS ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าค่อนข้างสูง และคุณภาพน้ำเมื่อผ่านระบบทดลอง พบว่า มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาที่กักพักรักษาเพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยต่ำ เท่ากับ 15.57, 10.84 และ 5.91 mg/l เมื่อระยะเวลาที่กักพักรักษา 3, 6 และ 9 วันตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ซึ่งกำหนดค่า SS ไว้ไม่เกิน 40 mg/l พบว่า ค่าเฉลี่ยของ SS ดังกล่าวนั้นต่ำกว่ามาตรฐาน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ จิตติมา (2545) ศึกษาเรื่องการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ต้นพุทธรักษาในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ พบว่า ระยะเวลาที่กักพักรักษา 7 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัด SS มีค่า 74.19 % ซึ่งสามารถสรุปเบื้องต้นได้ว่า ระบบทดลองดังกล่าวสามารถลดค่า SS ได้ ดังนั้นเพื่อให้คุณภาพน้ำที่ได้จากการทดลองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สามารถประยุกต์ระบบทดลองนี้ไปใช้บำบัดน้ำเสียโดยให้น้ำเสียผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นก่อน

ค่า TKN ของน้ำที่ผ่านระบบการทดลอง เมื่อระยะเวลาที่กักพักรักษาเพิ่มมากขึ้น จะมีค่าลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.70 mg/l ที่ระยะกักพักรักษา 9 วัน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดค่า TKN ไว้ไม่เกิน 35 mg/l สอดคล้องกับ

ผลการศึกษาของ (เพ็ญชุดา, 2546) ซึ่งศึกษาบำบัดน้ำเสียโดยใช้ต้นเตยหอม ตาลปัตรฤาษี และแวนแก้ว ในบึงประดิษฐ์พบว่าพืชดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการบำบัด TKNเฉลี่ย 64.77 % และ 70 % ตามลำดับจึงสรุปได้ว่า ระบบมีความสามารถในการลดค่า TKN ลงได้

ค่า TP ของน้ำเสียที่ผ่านระบบทดลองจะมีค่าลดลง เมื่อระยะกักพักคลอโรฟิล์เพิ่มขึ้นโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.11 mg / l เมื่อมีระยะเวลาพักพิกลคลอโรฟิล์ที่ 9 วัน สอดคล้องผลการศึกษาของ (จิตติมา, 2545) ซึ่งพบว่า ประสิทธิภาพการ TP โดยใช้ต้นพุทธรักษา มีค่าสูงสุด 75.53 % ซึ่งค่าของ TP มิได้กำหนดไว้ในค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ข ดังกล่าว

ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัย

1.1 จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลากักพักคลอโรฟิล์เพิ่มขึ้น ดังนั้น ควรมีการขยายช่วงระยะเวลากักพักคลอโรฟิล์เพิ่มขึ้นจากเดิม เพื่อศึกษาถึงช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด

1.2 จากการทดลองพบว่าค่า SS ของน้ำเสียชุมชนก่อนบำบัดมีค่าสูงและมีค่าไม่ค่อยสม่ำเสมอเนื่องจากการทดลองเป็นช่วงฤดูฝน (ในรอบการทดลองที่ 2) ดังนั้น ควรทำการทดลองในช่วงฤดูหรือระยะเวลาเดียวกัน

1.3 จากการทดลองพบว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ระหว่างบ่อดูดและบ่อควบคุมมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ควรตรวจวิเคราะห์น้ำอย่างละเอียดก่อนและหลังเข้าระบบ และควบคุมระบบในทุกขั้นตอนการทดลองอย่างดี

1.4 ควรทำการศึกษาเปรียบเทียบระดับความลึกของน้ำที่ต่างกัน ว่ามีผลต่อประสิทธิภาพในการลดค่าความสกปรกของน้ำอย่างไร

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรทำการศึกษาวิเคราะห์ดินและพืช ภายหลังการทดลอง เพื่อทราบถึงการดูดซับธาตุอาหาร หรือสิ่งสกปรกต่างๆ ของน้ำที่ใช้ทดลอง

2.2 ควรทดลองการนำน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดไปใช้ประโยชน์การเกษตรพร้อมเก็บข้อมูล

2.3 กรณีน้ำเสียชุมชนที่มีค่าความสกปรกที่สูงมาก ควรมีการบำบัดขั้นต้นก่อน เพื่อลดค่าความสกปรกของน้ำ ทั้งนี้โดยใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์เป็นระบบเสริม ในการบำบัดน้ำดังกล่าว ซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพน้ำที่ได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานยิ่งขึ้น

2.4 ควรทำการศึกษาขีดความสามารถสูงสุดของพืชในการรองรับความสกปรกและสภาพต่างๆ ของน้ำ เช่น ขีดความสามารถในการรองรับสารพิษ โลหะหนักต่างๆ

2.5 จากการทดลอง ปลุกต้นธูปฤาษีร่วมกับกกกลม พบว่าธูปฤาษีมีการเจริญเติบโตและแตกหน่อได้ดีกว่ากกกลมอย่างชัดเจน ซึ่งการนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ควรใช้ธูปฤาษีในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากอาจารย์คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี, เจ้าหน้าที่โรงพยาบาลบ้านนา และเทศบาลตำบลบ้านนา

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2547. แนวทางด้านเทคนิคและสถิติระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์. : สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2545. น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2551. รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2550. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์วิบูลย์การปก.
- กลุ่มงานเวชศาสตร์ ร.พ.บ้านนา. 2551. รายงานประเมินผลและตรวจสอบคุณภาพน้ำเดือนธันวาคม.

- กลุ่มงานเวชศาสตร์ ร.พ.บ้านนา. 2552. รายงานประเมินผลและตรวจสอบคุณภาพน้ำเดือนมิถุนายน.
- จิตติมา เชื้อกุล. 2545. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ต้นพุทธรักษาในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตภาควิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม.: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล,
- ชนิดา ปิยัสสพันธ์ และพัฒนา อนุรักษ์พงศธร. 2548. การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เพ็ญสุดา ปัญญาวานิชกุล. 2546. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ต้นเตย, ตาลปัตร และแวนแก้วในบึง ประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ยรรยงค์ อินทร์ม่วง และคณะ. 2546.การเสริมสร้างกระบวนการเรียนรู้ชุมชนในการประเมินผลกระทบทางสุขภาพจากมลพิษทางน้ำ : กรณีศึกษาแม่น้ำนครนายก. สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข.
- ศุภา กานตวนิชกุล. 2538. การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา. : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุชาดา ศรีเพ็ญ. 2537. การคัดเลือกสายพันธุ์พืชที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธี “Grass filtration”. ในเอกสารประกอบการบรรยายหมายเลข 7 การประชุมเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ณ โรงแรมริเจนท์ ซะอ่า อำเภอสะอ่า จังหวัดเพชรบุรี วันที่ 2-3 พฤษภาคม 2537. หน้า 1-7. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุชาดา ศรีเพ็ญ. 2542. พรรณไม้ น้ำ. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ. : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สนธิเดช จิตวิมลนิมิต. 2547. ประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์โดยใช้ ธูปฤาษีและพุทธรักษา. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. สมพล เปรมปรามอมร และศุภา กานตวนิชกุล. 2545. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพืชต่างชนิดในระบบบึงประดิษฐ์แบบการไหลใต้ผิวดินในแนวตั้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2551. รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2550. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์วิบูลย์การปก.
- อาทิตย์ สีมารักษ์และอติพงษ์ ภูสำเภา. 2550. การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดินที่มีการไหลตามแนวตั้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- Reed, SC., Middlebrooks, EJ., and Crites, RW. 1988. Natural System for Waste Management and Treatment. New York : McGraw-Hill Inc,
- U.S. EPA. 1999. Free Water Surface Wetland for Wastewater Treatment. A Technology Assesment. EPA 832-8-99-002.