การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบบึงประดิษฐ์ที่แตกต่าง
Domestic Wastewater Treatment by Two Different Constructed Wetland Systems

พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก

Pantip Klomjek

Abstract

Two different types of constructed wetland; Free water surface flow wetland (FWS wetland) and Horizontal subsurface flow wetland (HSF wetland), were evaluated for their wastewater treatment efficiency. Both systems were fed with domestic wastewater collected from canteen and operated under continuous flow with 5 days of HRT. The result showed that both systems were able to change the pH of wastewater from acid to neutral. Nevertheless, EC and TDS of FWS wetland effluent did not differ from those of influent but EC and TDS of HSF wetland effluent were higher than influent. T-test analysis indicated the difference between FWS wetland and HSF wetland for removal of NH_3-N, SS, BOD_5 and TP. FWS wetland was found to be superior for NH_3-N removal while HSF wetland exhibited high performance for SS, BOD_5 and TP removal.

Keywords: BOD, constructed wetland, nutrient, wastewater treatment

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารของระบบบึงประดิษฐ์ 2 ชนิด คือ บึงประดิษฐ์ชนิดน้ำไหลผ่านบนผิวหน้าชั้นกรองอย่างอิสระ (FWS wetland) และบึงประดิษฐ์ชนิดน้ำไหลผ่านใต้ผิวหน้าชั้นกรองในแนวนอน (HSF wetland) ทั้งสองระบบถูกใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนจากโรงอาหาร โดยการระบายน้ำเสียเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่องและมีระยะเวลากักพักน้ำเสียในระบบ 5 วัน ผลการวิจัยพบว่า บึงประดิษฐ์ทั้งสองระบบมีศักยภาพ ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั้งสองระบบสามารถเพิ่มค่า pH ของน้ำเสียจากความเป็นกรด เข้าสู่ความเป็นกลาง ขณะที่ EC และ TDS ในน้ำเสียจากระบบ FWS wetland ไม่ต่างจากก่อนบำบัด ส่วน EC และ TDS ในน้ำเสียจากระบบ HSF wetland มีค่าเพิ่มขึ้น การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า การบำบัดมลสารของทั้งสองระบบมีความแตกต่างกัน โดย FWS wetland บำบัด NH3-N ได้ดี ขณะที่ HSF wetland มีประสิทธิภาพในการบำบัด SS, BOD5 และ TP

คำสำคัญ: การบำบัดน้ำเสีย ธาตุอาหาร บีโอดี บึงประดิษฐ์

ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Amphoe Muang, Phitsanulok 65000

บทนำ

น้ำเสียชุมชน ซึ่งเกิดจากกิจวัตรประจำวันของมนุษย์และมีการผลิตอยู่ตลอดเวลานั้น มีการปนเปื้อนอินทรียสารและอนินทรียสาร ทั้งในรูปของของแข็ง และสารละลาย ในปริมาณสูง (Welch and Lindell, 1992) ซึ่งหากระบายน้ำเสียนี้ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง โดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัด อาจก่อผลกระทบต่อแหล่งน้ำ ทำให้แหล่งน้ำขาดสภาพสมดุลและเสื่อมสภาพไปในที่สุด ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันและลดผลกระทบดังกล่าว การบำบัดน้ำเสียชุมชนก่อนการระบายลงสู่แหล่งน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็น ในปัจจุบันสามารถพบการบำบัดน้ำเสียประเภทนี้ได้ในเมืองใหญ่ ซึ่งมีงบประมาณและปัจจัยสนับสนุนในการดำเนินการ อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำเสียชุมชนยังเกิดขึ้นน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการผลิต โดยเฉพาะน้ำเสียที่เกิดจากชุมชน หรือหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนที่มีขนาดเล็กหรือตั้งอยู่ในชนบท ซึ่งพบว่าน้ำเสียเกือบทั้งหมดถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง ทั้งนี้นอกเหนือจากความไม่ตระหนักถึงความสำคัญของสภาพแวดล้อมแล้ว ส่วนหนึ่งอาจเป็นผลจากการขาดแคลนงบประมาณและปัจจัยในการดำเนินการ

ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมหรือบึงประดิษฐ์ (Constructed wetland, Treatment wetland) เป็นระบบบำบัดที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนและมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย (Kadlec and Knight, 1996; Ferber, 2000) และเนื่องจากเป็นระบบบำบัดที่อาศัยองค์ประกอบทางธรรมชาติภายในระบบในการดำเนินกิจกรรมการบำบัด (Brix, 1994; 1997) จึงเป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถูกและเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อม นอกจากนั้นยังเป็นระบบที่สามารถดำเนินการและดูแลรักษาง่าย (Gopal, 1998) ดังนั้น บึงประดิษฐ์จึงเป็นระบบบำบัดที่เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับพื้นที่ที่ขาดแคลนงบประมาณและปัจจัยสนับสนุน อย่างไรก็ตาม การดำเนินการบำบัดน้ำของบึงประดิษฐ์ สามารถดำเนินการได้หลายลักษณะ ซึ่งแต่ละลักษณะจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการบำบัดมลสารประเภทต่างๆ แตกต่างกันไป การออกแบบระบบการดำเนินการ และการดูแลระบบอย่างเหมาะสม จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการคงไว้ซึ่งศักยภาพของระบบในการบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ ที่มีลักษณะการดำเนินการในการบำบัดที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อการนำเสนอแนวทางเลือกที่เหมาะสมในการบำบัดมลสารประเภทต่างๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชน ด้วยระบบบึงประดิษฐ์ต่อไป

วิธีการศึกษา

บึงประดิษฐ์ ขนาด 1x3x1.2 ม. และมีความลาดเอียง 1 % ถูกสร้างขึ้น เพื่อใช้เป็นบึงประดิษฐ์ชนิดน้ำไหลผ่านบนผิวหน้าชั้นกรองอย่างอิสระ (Free water surface flow wetland: FWS wetland) และบึงประดิษฐ์ ชนิดน้ำไหลผ่านใต้ผิวหน้าชั้นกรองในแนวนอน (Horizontal subsurface flow wetland: HSF wetland) ในหน่วยทดลอง FWS wetland ดินปนทรายถูกบรรจุลงแปลงจนถึงระดับ 50 ซม. จากก้นแปลง เพื่อใช้เป็นตัวกลาง (media) หรือวัสดุปลูก ส่วนหน่วยทดลอง HSF wetland นั้น หิน กรวด และทรายหยาบ ถูกใช้เป็นตัวกลางและวัสดุปลูก ทำการปลูก กกสามเหลี่ยมแห้วกระดาน (Scirpus grossus L.f.) ในแต่ละระบบ ด้วยระยะปลูก 25x25 ซม. รดพืชด้วยน้ำประปา จนกระทั่งพืชสามารถปรับตัวได้ จึงเริ่มทำการบำบัดน้ำเสีย โดยการระบายน้ำเสียลงสู่ระบบ ปรับอัตราการไหลของน้ำเสียลงสู่ระบบเพื่อให้น้ำเสียมีระยะเวลาในการกักพัก (Hydraulic retention time: HRT) ในแต่ละระบบ เป็นระยะเวลา 5 วัน ซึ่งทำให้ระบบ FWS wetland และ HSF wetland มีอัตราการรองรับน้ำเสียเท่ากับ 180 และ 120 ลิตร/วัน ตามลำดับ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ ณ จุดน้ำเข้า (Influent point) และจุดน้ำออก (Effluent point) หลังจากที่ น้ำ

เสียถูกบำบัดภายในระบบเป็นเวลา 5 วัน นำตัวอย่างน้ำไปทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพน้ำ อันได้แก่ BOD_5, SS, TDS, NH_3-N, TP, EC และ pH ตามวิธีการที่ได้กำหนดไว้ใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 1992) นำผลการตรวจวัดมาทำการวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของแต่ละระบบในการบำบัดน้ำเสียแต่ละดัชนีคุณภาพน้ำและคุณภาพน้ำหลังการบำบัด ทำการศึกษาความแตกต่างทางสถิติระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดของแต่ละระบบด้วย T-test analysis และเปรียบเทียบคุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบทั้งสองด้วย Paired T-Test analysis

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ลักษณะน้ำเสีย

น้ำเสียที่ระบบทำการบำบัด เป็นน้ำเสียชุมชนจากอาคารโภชนาการ ขนาด 1,240 ตร.ม. ซึ่งจัดเป็นอาคารที่จะต้องควบคุมมาตรฐานการระบายน้ำทิ้ง ประเภท ข (ภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ตร.ม. แต่ไม่ถึง 2,500 ตร.ม.) น้ำเสียที่เกิดเป็นน้ำเสียจากกิจกรรมการประกอบอาหาร การล้างวัสดุและเครื่องใช้ในการประกอบอาหาร รวมถึงน้ำเสียจากกิจวัตรประจำวันของผู้ประกอบกิจการร้านอาหาร ผลจากการตรวจวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียก่อนการบำบัด พบว่า ค่าความเข้มข้นของของเสียที่ตรวจพบในน้ำเสีย โดยส่วนใหญ่บ่งชี้ว่าน้ำเสียจากอาคารโภชนาการเป็นน้ำเสียชุมชน ที่มีความเข้มข้นระดับน้อยถึงปานกลาง (Table 1) ยกเว้นค่า BOD_5 และ TDS ซึ่งพบว่ามีค่าความเข้มข้นสูง (Metcalf และ Eddy, 1991) จากการตรวจวิเคราะห์ พบว่า น้ำเสียมีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ และของแข็งในรูปของแข็งละลายน้ำสูง มีปริมาณของแข็งแขวนลอยปานกลางและมีธาตุอาหารทั้งในรูปไนโตรเจนและฟอสฟอรัสปนเปื้อนในระดับน้อย น้ำค่อนข้างเป็นกรดถึงกรดอ่อน ค่าการนำไฟฟ้าสูง ในขณะที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในน้ำเสียมีค่าต่ำมากจนวัดไม่ได้

2. คุณภาพน้ำหลังการบำบัดและประสิทธิภาพการบำบัด

2.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

การศึกษาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ ทั้งชนิดน้ำไหลผ่านผิวหน้าชั้นกรองอย่างอิสระ (FWS wetland) และชนิดน้ำไหลผ่านชั้นกรอง (HSF wetland) ในการบำบัดสิ่งปนเปื้อนที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำเสียชุมชน อันได้แก่ ของแข็ง สารอินทรีย์ และธาตุอาหาร พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์ ทั้งสองประเภทมีค่า pH เพิ่มสูงขึ้นจากเดิม ซึ่งพบว่าก่อนการบำบัดน้ำเสียมีค่า pH ค่อนข้างเป็นกรด ทั้งนี้ พบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านระบบ FWS wetland มีค่า pH เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ HSF wetland (Fig. 1 และ Table 2) และพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดของระบบ FWS wetland จะมีค่า pH ระหว่าง 7.1-8.7 ขณะที่น้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบ HSF wetland มีค่า pH ระหว่าง 6.7-7.7 ทั้งนี้พบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่า pH เข้าสู่ความเป็นกลางมากขึ้น และอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ซึ่งกำหนดให้น้ำทิ้งที่จะระบายลงสู่แหล่งรองรับน้ำตามธรรมชาติ ต้องมีค่า pH ระหว่าง 5-9 ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าระบบบึงประดิษฐ์ทั้งชนิด FWS wetland และ HSF wetland สามารถปรับค่า pH จนเข้าสู่ระดับที่สามารถระบายลงสู่สิ่งแวดล้อมได้ โดยไม่ก่อผลกระทบ ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของค่า pH เป็นผลจากปฏิกิริยาเคมีของ CO_2 ในน้ำ ซึ่งทำหน้าที่เป็น pH buffer และการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำเสียกับตัวกลางที่ใช้ในระบบ โดยเฉพาะในระบบ HSF wetland (Kaseva, 2004; Kadlec and Knight, 1996)

Table 1 Wastewater characteristics.

Indicators	Unit	Concentration	Average concentration
BOD_5	mg/L	334.1-862.5	601.0
SS	mg/L	101.5-179.5	129.7
TDS	mg/L	378.0-946.0	674.7
TP	mg/L	2.7-3.5	3.1
NH_3-N	mg/L	2.1-4.6	3.0
pH	-	4.6-6.1	5.1
EC	µs/cm	770-1,880	1,358.9

Table 2 Effluent characteristics of FWS wetland and HSF wetland indicators.

Indicators	Unit	Building effluents standards Range or maximum permitted values for building type B*	Average concentration FWS wetland	Average concentration HSF wetland	Pair t-test *P*-value	Pair t-test Sample size (n)
Temperature	°C	-	27.7	27.7	0.77	22
pH	-	5-9	7.5	6.9	8.0E-08	22
TDS	mg/L	500**	696.2	956.2	3.9E-10	22
EC	µs/cm	-	1368.0	1909.4	8.0E-08	22
BOD	mg/L	30	107.9	53.0	9.0E-04	17
SS	mg/L	40	176.1	40.9	3.7E-07	14
NH_3-N	mg/L	-	1.0	8.5	2.0E-04	11
TP	mg/L	-	2.7	0.8	1.3E-07	17

Remarks: * = Restaurants, food shops and food centers that have areas size from 500 to not greater than 2,500 m^2

** = These values are in addition to the TDS of the water used.

Sources: Notification of the Ministry of Natural Resources and Environment : Building Effluents Standards dated November 7, B.E. 2548 (2005) published in the Royal Government Gazette, Vol. 122 Part 125 D, dated December 29, B.E. 2548 (2005)

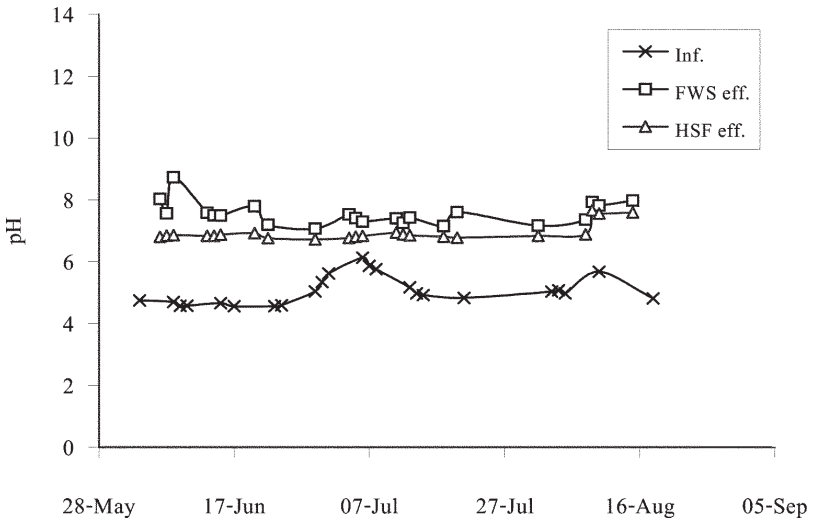

Fig. 1 pH of influent and FWS and HSF wetland effluent.

2.2 ความนำไฟฟ้า (EC)

EC ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ FWS wetland ซึ่งมีค่าระหว่าง 762.0-1850.0 µs/cm พบว่าไม่แตกต่างจาก ค่า EC ในน้ำเสียก่อนการบำบัด ขณะที่น้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ HSF wetland มีค่า EC สูงขึ้น โดยมีค่าระหว่าง 1,148-2,600 µs/cm (Fig.2) และมีค่าสูงกว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ FWS wetland อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $P \leq 0.01$ (Table 2) ทั้งนี้ส่วนหนึ่งเป็นผลจากน้ำเสียซึ่งมีความเป็นกรดอ่อนๆ ไหลผ่านวัสดุกรองในระบบ ซึ่งเป็นกรวดและหิน อันทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เกิดการละลายตัวและแตกตัวของของแข็งหรือแร่ธาตุต่างๆ จึงมีผลให้ค่า EC ของน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจวัดค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ซึ่งพบว่าในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วย HSF wetland จะมีค่า TDS สูงขึ้น

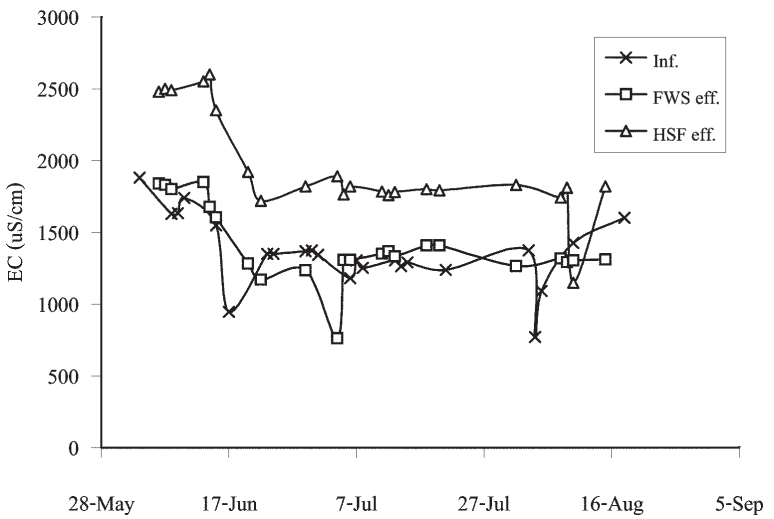

Fig. 2 EC of influent and FWS and HSF wetland effluent.

2.3 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)

TDS ในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดด้วย FWS wetland มีค่า 582.0-969.0 mg/L ซึ่งสูงกว่าในน้ำเสียก่อนการบำบัดเล็กน้อยขณะที่น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วย HSF wetland มีค่า TDS เพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าระหว่าง 579.0-1,290.0 mg/L (Fig. 3) และสัมพันธ์กับค่า EC ที่สูงขึ้นในลักษณะเดียวกันและพบว่ามีค่าสูงกว่า ค่า TDS ในน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ FWS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.01$ (Table 2) การสูงขึ้นของ TDS ในระบบ HSF wetland นอกจากจะเป็นผลจากการเปลี่ยนรูปของอินทรียสารไปสู่อนินทรียสาร ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งของการบำบัดมลสารในน้ำเสียแล้ว ปฏิกิริยาระหว่างน้ำเสียที่มีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อนถึงกรด (pH 4.6-6.1) กับตัวกลาง (หิน กรวด และทราย) ใน HSF wetland ยังมีผลทำให้ TDS และ EC ในน้ำสูงกว่าน้ำเสียที่ผ่าน FWS wetland ซึ่งมีตัวกลางเป็นดินผสมทรายและเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนหรือน้ำทิ้งจากอาคาร จะพบว่า ค่า TDS ในน้ำเสียหลังการบำบัดจาก ทั้งสองระบบ ยังคงมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้มีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณสารละลายในน้ำตามปกติไม่เกิน 500 mg/L

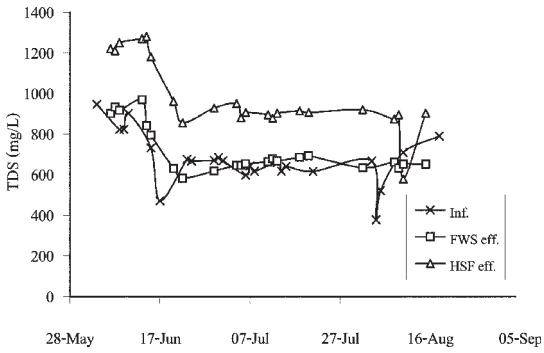

Fig. 3 TDS of influent and FWS and HSF wetland effluent.

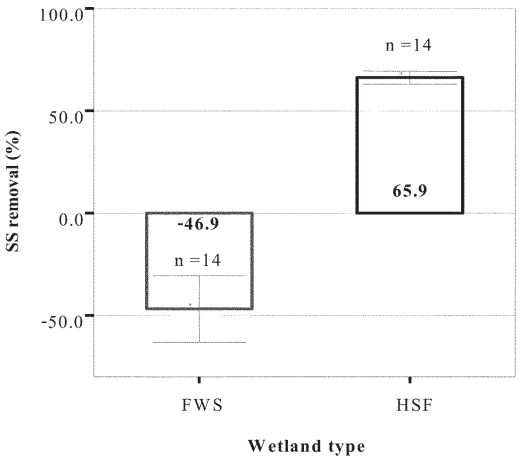

Fig. 4 Average efficiency of FWS and HSF wetland for SS removal.

2.4 ของแข็งแขวนลอย (SS)

HSF wetland มีประสิทธิภาพในการบำบัด SS สูงกว่า FWS wetland (Fig. 4) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.01$ ทั้งนี้พบ SS ใน น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ FWS wetland และ HSF wetland เท่ากับ 90.5-311.0 mg/L และ 25.5-61.0 mg/L ตามลำดับ (Table 2) ซึ่งพบว่าระบบทั้งสองมีประสิทธิภาพการบำบัดและปริมาณความเข้มข้นของ SS ในน้ำหลังการบำบัด ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนและพบว่า SS ในน้ำเสียหลังการบำบัดผ่านระบบ FWS wetland ยังคงมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนประเภทน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ข (Table 2)

การไหลอย่างช้าๆ ของน้ำเสียในชั้นตัวกลางภายใน HSF wetland ทำให้ SS ถูกกรองด้วยตัวกลางอันได้แก่ หิน กรวด ทราย และการกรองด้วยรากพืช ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการกรองมากกว่าการไหลของน้ำเหนือตัวกลาง เช่น ใน FWS wetland ซึ่ง SS จะถูกกรองโดยส่วนต่างๆ ของพืช และเกิดการตกตะกอนและจมตัวลงสู่พื้น อย่างไรก็ตาม SS ใน FWS wetland อาจเกิดการฟุ้งและลอยตัวขึ้นในขณะที่มีลมพัดผ่าน

ผิวหน้าน้ำ อันทำให้ความเข้มข้นของ SS เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นการเติบโตของสาหร่ายใน FWS wetland จากความสมบูรณ์ของธาตุอาหารและแสงแดดที่ระบบได้รับ ซึ่งเป็นปัญหาที่พบได้ในระบบบำบัดแบบ FWS wetland เป็นสาเหตุสำคัญที่เพิ่มปริมาณ SS ให้กับน้ำเสีย (Klomjek and Nitisoravut, 2005) นอกเหนือจากการปนเปื้อนในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ ซึ่งจากการสังเกตพบว่าน้ำเสียในระบบ และน้ำหลังการบำบัดมีสีเขียวเข้มจากสาหร่ายที่เกิดขึ้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องบำบัด SS เพิ่มเติม หากต้องการระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ ทั้งนี้เพื่อลดการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.5 บีโอดี (BOD)

ประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 ของระบบ FWS wetland และ HSF wetland มีค่าระหว่าง 63.8-93.8 และ 61.2-97.7 % ตามลำดับ (Fig. 5) แม้ว่าประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 ของทั้งสองระบบ จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยของ HSF wetland มีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ HSF wetland มีความเข้มข้นของ BOD_5 ต่ำกว่า น้ำเสียจากระบบ FWS wetland และแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.01$ (Table 2) ค่า BOD_5 ในน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยส่วนใหญ่ยังสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน โดยเฉพาะน้ำจาก FWS wetland ทั้งนี้ ส่วนหนึ่งเป็นผลจากน้ำเสียก่อนการบำบัดมีความเข้มข้นของ BOD_5 ในระดับสูง (Table 1) ซึ่งยังคงต้องการการบำบัดเพิ่มเติม การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เป็นกระบวนการหลักในการลดอินทรียสาร ซึ่งเกิดขึ้นได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจน (aerobic condition) และไร้ออกซิเจน (anaerobic condition) ซึ่งพบได้ในระบบบำบัดทั้งสองในระดับที่แตกต่างกัน ความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดและความเข้มข้นของ BOD_5 ในน้ำที่ผ่านการบำบัดจากทั้งสองระบบ ส่วนหนึ่งเป็นผลจากการบำบัด SS ซึ่ง HSF wetland มีประสิทธิภาพสูงกว่า เนื่องจาก SS ในน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่ส่งผลต่อค่า Total BOD ดังนั้น การลด SS จึงเป็นการลด BOD5 ด้วย นอกจากนั้นการเติบโตของสาหร่ายใน FWS wetland ยังเป็นการเพิ่ม SS และอินทรียสารให้แก่ระบบด้วย

2.6 แอมโมเนีย ไนโตรเจน (NH_3-N)

ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียของระบบบำบัดทั้งสอง มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน (Fig. 6) ทั้งนี้ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด

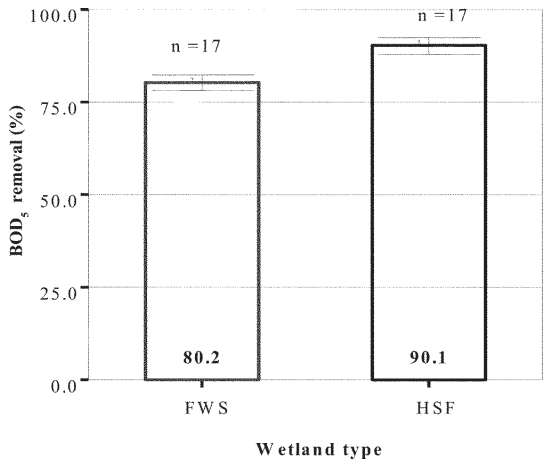

Fig. 5 Average efficiency of FWS and HSF wetland for BOD_5 removal.

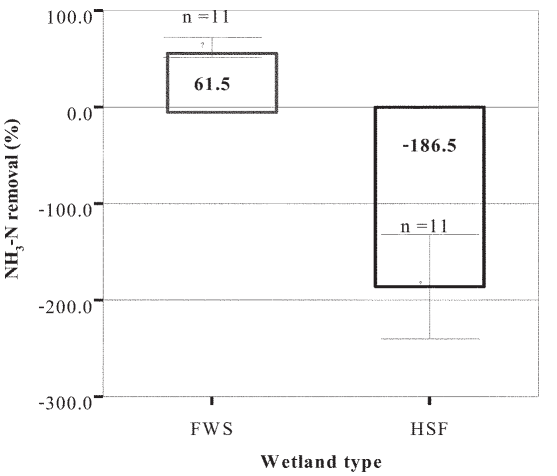

Fig. 6 Average efficiency of FWS and HSF wetland for NH_3-N removal.

NH_3-N ของ HSF wetland มีค่าเป็นลบ และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบ HSF wetland มีความเข้มข้นของ NH_3-N โดยเฉลี่ยสูงขึ้นเทียบกับน้ำเสียก่อนบำบัด (Table 2) โดยความเข้มข้นของ NH_3-N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบ FWS wetland และ HSF wetland มีค่าระหว่าง 0.35-2.24 และ 1.4-17.0 mg/L ตามลำดับ การบำบัด NH_3-N ในระบบบึงประดิษฐ์นั้นเกิดจากหลายกระบวนการด้วยกัน ได้แก่ การนำไปใช้โดยพืชรวมถึงสาหร่ายในระบบ การระเหยออกจากระบบและการเปลี่ยนรูปโดย Nitrifying bacteria ภายใต้สภาพ aerobic condition ซึ่งพบในระบบ FWS wetland ได้สูงกว่า เนื่องจากเป็นระบบที่น้ำเสียสัมผัสกับอากาศจึงได้รับการเติมออกซิเจนจากอากาศ รวมถึงการเติมอากาศผ่านรากพืช ขณะที่ออกซิเจนในระบบ HSF wetland ซึ่งมีอยู่จำกัดนั้นได้ถูกใช้ไปในหลายกระบวนการด้วยกัน ทั้งในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในการเปลี่ยนรูป Organic nitrogen ไปเป็น NH_3-N อันเป็นการเติม NH3-N ให้ระบบ ดังนั้น Nitrifying bacteria ใน HSF wetland จึงทำหน้าที่ในการเปลี่ยนรูป NH_3-N ได้ไม่ดีนัก ขณะที่ตัวกลางซึ่งเป็นหิน กรวด และทรายในระบบขัดขวางการระเหยของ NH_3-N สู่อากาศ

2.7 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)

HSF wetland สามารถบำบัด TP ได้ดีกว่า FWS wetland (Fig.7) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.01$ ทั้งนี้พบว่า HSF wetland และ FWS wetland มีประสิทธิภาพการบำบัด TP ระหว่าง 29.5-99.5 และ -12.5-40.7 % ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจาก HSF wetland และ FWS wetland มีค่าระหว่าง 0.01-2.49 และ 1.72-3.41 mg/L ตามลำดับ (Table 2) เนื่องจากกระบวนการในการบำบัด TP ในบึงประดิษฐ์มีความซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับหลายกระบวนการและสามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ จึงพบว่าค่าประสิทธิภาพในการบำบัด TP มีช่วงกว้างในระบบบึงประดิษฐ์นั้น พืชสามารถนำฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุอาหารพืชไปใช้ได้โดยเฉพาะในระยะที่พืชเจริญเติบโต (Hosoi et al., 1998) แต่ฟอสฟอรัสส่วนนี้อาจกลับคืนสู่ระบบได้ หากพืชเกิดการย่อยสลาย จึงถือว่าพืชลด TP ได้ในระยะสั้น ส่วนกระบวนการหลักในการลด TP ในบึงประดิษฐ์ คือ การตกผลึกของ P (Precipitation process) หลังจากทำปฏิกิริยากับ Ca, Al หรือ Fe (U.S. EPA, 2000; Kadlec and Knight, 1996) และเนื่องจากความแตกต่างระหว่างตัวกลางที่ใช้ในแต่ละระบบและการไหลของน้ำเสียในระบบ ซึ่งน้ำเสียใน HSF wetland มีโอกาสสัมผัสกับตัวกลางได้มากกว่า จึงมีโอกาสที่ TP จะเกิด Sorption และ Precipitation ร่วมกับธาตุอื่นๆ ได้มากกว่า (U.S. EPA, 1993) จึงพบประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่า

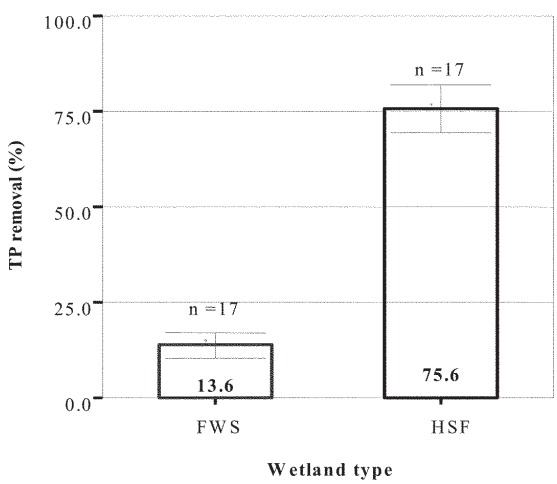

Fig. 7 Average efficiency of FWS and HSF wetland for TP removal.

สรุป

ระบบบึงประดิษฐ์ที่ศึกษานี้ ได้ก่อสร้างและดำเนินระบบ ภายใต้ข้อกำหนดในการก่อสร้าง และดำเนินระบบสำหรับบึงประดิษฐ์ ซึ่งเมื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบ พบว่าสามารถลดมลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชนได้ โดยเฉพาะการลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียและพบว่า ความแตกต่างของระบบบึงประดิษฐ์จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดมูลสาร โดยระบบบึงประดิษฐ์ชนิดน้ำไหลผ่านผิวหน้าชั้นกรอง (FWS wetland) สามารถปรับค่า pH ของน้ำเสียที่มีความเป็นกรดอ่อนถึงกรด ให้เข้าสู่ความเป็นกลางได้ดี รวมถึงสามารถลด NH_3-N ได้ดีกว่าระบบบึงประดิษฐ์ชนิดน้ำไหลผ่านชั้นกรองในแนวนอน (HSF wetland) ขณะที่ผลการศึกษาบ่งชี้ว่า HSF wetland สามารถลด SS, BOD_5 และ TP ได้ดีกว่า FWS wetland อย่างไรก็ตาม การจะเลือกใช้ระบบใดนั้น จะต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดของแต่ละระบบควบคู่กันไปด้วย ทั้งนี้ อาจพบปัญหาการอุดตันภายในระบบ HSF wetland ได้ง่าย ขณะที่อาจเกิดปัญหาการเจริญเติบโตของพืชสีเขียวจำนวนมากภายในระบบ FWS wetland ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบลดลงเหล่านี้ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณรายได้ คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งผู้ศึกษาขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณ และพื้นที่ศึกษาวิจัยและขอขอบคุณ ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่เอื้อเฟื้อให้การสนับสนุนห้องปฏิบัติการและอำนวยความสะดวกอื่นๆอันทำให้การศึกษาวิจัยสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

APHA, AWWA, WPCF. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th edition. American Public Health Association Inc., Washington D.C, USA.

Brix, H. 1994. Functions of macrophytes in constructed wetland. Water Science and Technology, 29, pp. 71-78.

Brix, H. 1997. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetland? Water Science and Technology, 35, pp. 11-17.

Ferber, S. 2000. Welfare-based ecosystem management: an investigation of trade-offs. Environmental Science & Policy, 3, pp. 491-498.

Gopal, B. 1998. Natural and constructed wetland for wastewater treatment: potentials and problems, paper presented in the Proceeding of the 6th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control in Sao Paulo, Brazil, 27 September-2 October 1998.

Hosoi, Y., Y., Kido, M. Miki, and M. Sumida. 1998. Field examination on reed growth, harvest and regeneration for nutrient removal. *Water Science and Technology,* **38**, pp. 351-359.

Kadlec, R.H. and R.L. Knight. 1996. Treatment Wetlands. Lewis Publishers, Florida.

Kaseva, M.E. 2004. Performance of a sub-surface flow constructed wetland in polishing pre-treated wastewater-a tropical case study. Water Research, 38, pp. 681-687.

Klomjek, P. and S. Nitisoravut. 2005. Constructed wetland: a study of eight plant species under saline conditions. Chemosphere, 58, pp. 585-593.

Metcalf and Eddy, Inc. 1991 Wastewater Engineering Treatment, Disposal Reuse, New York : McGrew-Hill, International Editions.

U.S. EPA United States Environmental Protection Agency. 1993. Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Technology Assessments. Washington, DC.

U.S. EPA United States Environmental Protection Agency. 2000. *Constructed Wetland Treatment of Municipal Wastewaters.* Cincinnati, Ohio.

Welch, E.B and T. Lindell. 1992. Ecological Effects of Wastewater. Chapman & Hall, London, UK.