ทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบใช้พลังงานต่ำ

Alternative Low Energy Treatment for Domestic Wastewater

จรียา ยิ้มรัตนบวร* และ สุชาดา ปุณณสัมฤทธิ์
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 โทร 0-4422-4427 โทรสาร 0-4422-4606 E-mail: chareeya@sut.ac.th

Jareeya Yimrattanabovorn* and Suchada Punnasamrit
School of Environmental Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology
Muang District, Nakorn Ratchasima 30000 Thailand Tel: 0-4422-4427 Fax: 0-4422-4606 E-mail: chareeya@sut.ac.th

บทคัดย่อ

พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้อยู่ทั่วไปในปัจจุบัน จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับน้ำเสียชุมชน ในการศึกษานี้ได้นำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว (FWS) และแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง (SF) มารวมไว้ในบ่อเดียวกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียให้มากยิ่งขึ้น ทำให้มีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า แล้วจึงทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวม แบบ FWS - SF และ แบบ SF- FWS และศึกษารูปแบบการจัดลำดับก่อน-หลังที่เหมาะสมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวม นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์การใช้พลังงานเปรียบเทียบกับระบบน้ำเสียที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวมมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้ใกล้เคียงกับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว โดยมีระยะเวลาเก็บกักน้อยกว่าครึ่งหนึ่ง และพบว่ารูปแบบการจัดลำดับก่อน-หลังของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวมไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองมาวิเคราะห์การใช้พลังงาน พบว่าระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวมจะใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าระบบบำบัดแบบเอเอส ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้กันอยู่ทั่วไปถึง 4 เท่า

Abstract

Constructed wetland is a low energy treatment system. It is an interesting alternative for domestic wastewater. It's removal efficiency almost the same as conventional system. The objective of this research was to combine Free Water Surface Flow Constructed Wetland (FWS) with Subsurface Flow Constructed Wetland (SF) in one pond to enhance removal efficiency in order to reduce energy requirement. Therefore, the removal efficiency and order priority of FWS-SF and SF-FWS combined system were evaluated. In addition, the energy requirement of combined system were investigated and compared with Activated sludge system. The results indicated that the removal efficiency in organic matter, suspended solid, nitrogen and phosphorus of combined system is equal to that of each single system. Although, it's the hydraulic retention time is only a half. The result also showed that the order of FWS and SF in a combined system was not significantly different in term of removal efficiency. From this research, the energy requirement of combined system was less than 4 times as compared to that of Activated sludge system.

1. บทนำ

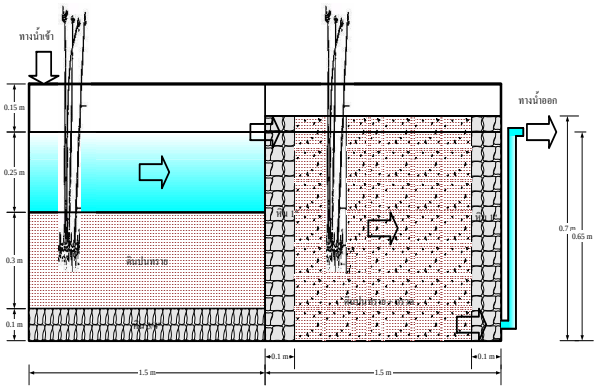
ในปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ใช้โดยทั่วไปมักประสบปัญหาใช้พลังงานและสารเคมีมาก ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูงต่อจำนวนประชากร มีความยุ่งยากในการดูแลรักษาและการดำเนินงานของระบบ โดยเฉพาะชุมชนขนาดเล็ก เนื่องจากประชากรจะกระจายอยู่ในพื้นที่ในบริเวณกว้าง จึงทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการรวบรวมน้ำเสียสูง [4] ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน เนื่องจากเป็นระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย ส่วนใหญ่ใช้พลังงานในรูปพลังงานแสงอาทิตย์ และเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียใกล้เคียงกับระบบที่ใช้ทั่วไปในปัจจุบัน อีกทั้งยังเป็นระบบที่ง่ายต่อการดำเนินงานและรักษาระบบ [7, 13] ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ เพื่อทำให้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์เป็นทางเลือกที่เหมาะกับการบำบัดน้ำเสียชุมชนมากยิ่งขึ้น ทั้งในแง่ของการใช้พลังงาน และคุณภาพน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ

พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์เป็นระบบที่เลียนแบบระบบพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ โดยอาศัยกลไกการทำงานร่วมกันระหว่างจุลินทรีย์ ตัวกลาง และพืช [6] พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว (Free Water Surface Flow Constructed Wetland; FWS) และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง (Subsurface Flow Constructed Wetland; SF) พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS เป็นระบบที่น้ำเสียไหลผ่านผิวหน้าดินหรือตัวกลาง น้ำเสียจะสัมผัสกับอากาศโดยตรงหลังจากนั้นจึงไหลซึมลงสู่

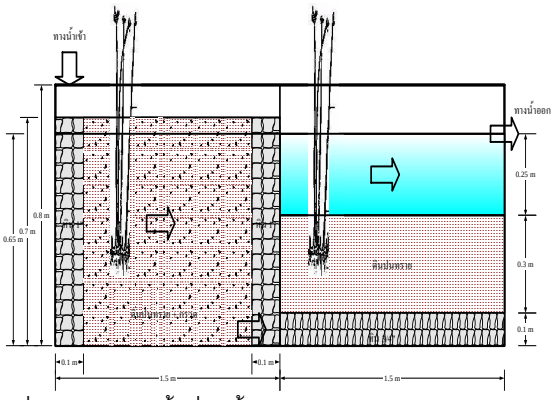
พื้น โดยปล่อยให้น้ำเสียไหลเข้าระบบอย่างช้า ๆ ผ่านต้นพืชและรากพืช หลักการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้จะอาศัยการตกตะกอนโดยพืช และการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ออกซิเจนมีผลทำให้ค่า BOD ลดลง [8] ส่วนพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF เป็นระบบที่น้ำเสียไหลผ่านลงไปในตัวกลางซึ่งมีพืชน้ำขึ้นอยู่ ตัวกลางที่ใช้เป็นพวกหินบดกรวด หรือดินชนิดต่าง ๆ ซึ่งตัวกลางอาจมีเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งหรือใช้รวมกันได้ [2] น้ำเสียที่ผ่านเข้าระบบจะถูกบำบัดระหว่างสัมผัสพื้นผิวตัวกลางและรากพืชซึ่งมีจุลินทรีย์เกาะอยู่ โดยสารแขวนลอยหรือสารอินทรีย์จะตกตะกอนภายในตัวกลาง ส่วนสารที่ละลายได้จะถูกดูดซับที่ผิวของตัวกลาง การย่อยสลายเกิดโดยจุลินทรีย์ทั้งกลุ่มที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ธาตุอาหารในน้ำเสียจะลดลงเนื่องจากกลไกการดูดซึมของพืช พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ทั้ง 2 แบบมีข้อดี-ข้อเสียในการบำบัดน้ำเสียแตกต่างกัน โดยระบบ FWS จะมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดสารอินทรีย์ และของแข็งแขวนลอย ส่วนระบบ SF จะมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโลหะหนักต่างๆ [12] ดังนั้นถ้านำเอาพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ทั้ง 2 แบบมารวมไว้ภายในบ่อเดียวกัน จะเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ได้ดียิ่งขึ้น ในการศึกษาวิจัยนี้จะทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวม แบบ FWS - SF และแบบ SF- FWS และศึกษารูปแบบการจัดลำดับก่อน-หลังที่เหมาะสมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวม เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่ต้องการพลังงานต่ำเพื่อใช้สำหรับชุมชนทั่วไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

โดยสร้างแบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวมที่บริเวณระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบบ่อผึ่ง (Oxidation Pond) ในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษามีจำนวน 2 บ่อ ซึ่งมีลักษณะดังต่อไปนี้ บ่อที่ 1 สำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว – ไหลใต้ผิวตัวกลาง (Free Water Surface Flow – Subsurface Flow Constructed Wetland; FWS -SF) โดยในบ่อจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 1 ส่วนแรกของแบบจำลองจะเป็นแบบ FWS โดยนำหินที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด ¾ นิ้ว และดินปนทราย ใส่ลงในแบบจำลองให้มีระดับความสูง 0.1 และ 0.3 เมตร ตามลำดับ โดยมีอัตราส่วนช่องว่างเท่ากับ 0.47 และปรับพื้นบ่อให้ราบเรียบสม่ำเสมอ ในส่วนหลังของบ่อเป็นแบบ SF โดยนำหินที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 1 นิ้ว ใส่ลงในแบบจำลอง ซึ่งอยู่บริเวณช่วงต้น และช่วงท้ายของแบบจำลองส่วนหลัง โดยมีความกว้างของชั้นหินเท่ากับ 0.1 เมตร ส่วนบริเวณที่ทำการปลูกพืชใส่ดินปนทรายผสมกรวด ซึ่งมีอัตราส่วนช่องว่างเท่ากับ 0.53 โดยระดับความสูงของชั้นหิน และชั้นดินเท่ากับ 0.7 เมตร และในบ่อที่ 2 สำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง – ไหลผ่านพื้นผิว (Subsurface Flow – Free Water Surface Flow Constructed Wetland; SF–FWS) โดยส่วนแรกจะจัดเป็นระบบ SF และส่วนหลังจัดเป็นระบบ FWS ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 แบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS-SF



รูปที่ 2 แบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS

ขั้นตอนการทดลอง

2.1 การเตรียมพืช พืชที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ กกรังกา (*Cyperus alternifolius* L.) โดยทำการคัดเลือกพืชที่มีความสูงประมาณ 0.50 เมตร แล้วนำมาปลูกในแบบจำลองโดยมีระยะห่างระหว่างต้นเท่ากับ 0.15 เมตร มีความหนาแน่นเท่ากับ 45 ต้น/ตร.ม. โดยทิ้งช่วงระยะเวลาให้พืชพักตัวในแบบจำลองก่อนเริ่มการทดลองประมาณ 2–3 สัปดาห์ ต้นกกรังกาเป็นพืชที่มีความทนต่อสารพิษ สามารถปรับตัวเข้ากับลักษณะสมบัติของน้ำเสียได้ดี และโครงสร้างของต้นกกรังกาเป็นพืชที่มีเส้นใยที่ไม่เน่าสลายง่าย จึงมีผลน้อยในการก่อให้เกิดการเจือปนของสารอินทรีย์กลับคืนสู่น้ำเสียอีกครั้งหนึ่ง [2]ดังนั้นจึงเหมาะกับการนำมาใช้เป็นพืชสำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

2.2 น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัย เป็นน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา เป็นน้ำเสียที่รวบรวมจากหอพักนักศึกษา เรือนพักบุคลากร และอาคารต่าง ๆ น้ำเสียดังกล่าวจะไม่รวมน้ำเสียจากการขับถ่าย การประกอบอาหาร และน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ลักษณะสมบัติน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดแสดงในตาราง 1 จะเห็นได้ว่าลักษณะสมบัติน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจะมีความเข้มข้นของสารต่างๆสามารถเป็นตัวแทนของชุมชนขนาดเล็ก

ตาราง 1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

ลักษณะสมบัติ	หน่วย	ช่วงค่า	ค่าเฉลี่ย	n
COD	mg/l	35-92	64.0	15
BOD	mg/l	3-18	8.2	15
TKN	mg/l	8-36	20.0	15
TP	mg/l	7-21	13.9	15
TSS	mg/l	3-8	5.8	15

2.3 การเดินระบบ หลังจากทิ้งช่วงระยะเวลาพักระบบประมาณ 1 สัปดาห์ จึงเริ่มปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบจำลอง โดยน้ำเสียจะปล่อยเข้าระบบจำลองแบบต่อเนื่อง ส่วนพืชก่อนเริ่มการทดลองทุกครั้งได้ทำการตัดต้นพืชให้มีขนาดความสูงเท่ากับ 0.50 เมตร เพื่อให้พืชเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ หลังจากนั้นจึงทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดมลสารต่าง ๆ จากน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS-SF และแบบ SF-FWS ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, ORL) 5.1, 9.1 และ 12.2 กิโลกรัม บีโอดี/ (เฮกแตร์/วัน) ตามลำดับ

2.4 การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างน้ำ โดยเก็บตัวอย่างน้ำที่เข้า - ออกของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบต่าง ๆ เพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์หาค่า COD (Chemical Oxygen Demand), BOD (Biochemical Oxygen Demand), TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) ของแข็งแขวนลอย และฟอสฟอรัส เพื่อนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในแต่ละพารามิเตอร์ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ทั้งสองแบบ

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

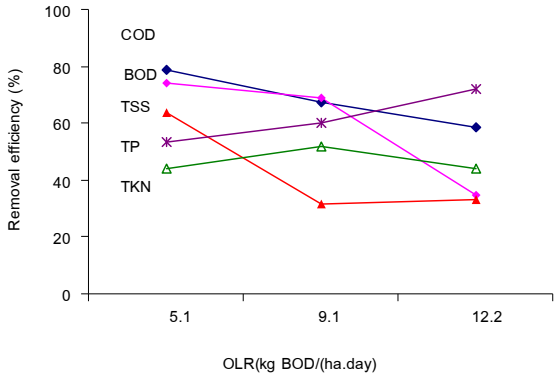
2.5.1 นำข้อมูลประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-way ANOVA ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชั่น 11.0

2.5.2 นำข้อมูลมาเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละระบบบำบัด

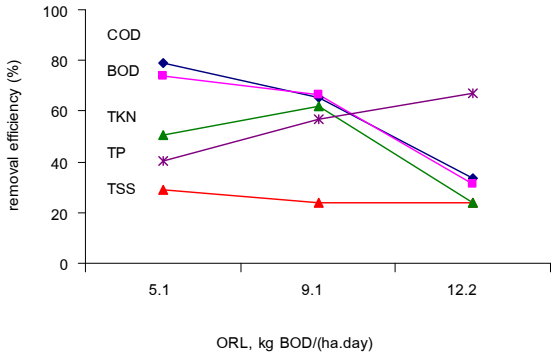
3. ผลและวิจารณ์ผลการศึกษา

3.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวม

จากการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป COD และ BOD ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS-SF และแบบ SF-FWS สูงที่สุดอยู่ในช่วงร้อยละ 73.9-78.9 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 5.1 กก. บีโอดี/(เฮกแตร์.วัน) และจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 9.1 และ 12.2 กก. บีโอดี/(เฮกแตร์.วัน) ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4) จะเห็นได้ว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 5.1 กก. บีโอดี/(เฮกแตร์.วัน) เป็นอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสมของระบบ ซึ่งตรงกับการศึกษาของ Brix [5] พบว่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสมจะมีผลต่อประสิทธิภาพการนำสารอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์ของจุลินทรีย์ ซึ่งผลดังกล่าวจะตรงกันข้ามกับประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS-SF และแบบ SF-FWS ซึ่งจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ซึ่งจากการศึกษาของ Lin et al [10] พบว่าอัตราการกำจัดฟอสฟอรัสจะมีความสัมพันธ์กับอัตราภาระบรรทุกสาร โดยจะมีเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด หลังจากนั้นจะมีอัตราในการกำจัดคงที่ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS-SF และแบบ SF-FWS จะมีค่าลดลงเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS-SF ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5.1, 9.1และ 12.2 กก. บีโอดี / (เฮกแตร์.วัน)



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5.1, 9.1และ 12.2 กก. บีโอดี / (เฮกแตร์.วัน)

ส่วนค่าประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนของระบบแบบ FWS-SF และแบบ SF-FWS สูงที่สุดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 9.1 กก. บีโอดี/(เฮกแตร์.วัน) เท่ากับร้อยละ 52.0 และ 61.9 ตามลำดับ และมีอัตราภาระชลศาสตร์เท่ากับ 0.23 ลบ.ม./วัน ซึ่งจัดเป็นอัตราที่เหมาะสมต่อการบำบัดไนโตรเจนของการศึกษาครั้งนี้ Knight et al [9] พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนได้แก่ อัตราภาระชลศาสตร์ ส่วนปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในการศึกษานี้จะถูกควบคุมให้อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกันทั้งสองระบบ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ เป็นต้น

3.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวม (แบบ FWS-SF และ แบบ SF-FWS) และแบบเดี่ยว (แบบ FWS และ แบบ SF)

จากตารางที่ 2 เมื่อนำผลค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 5.1 กก. บีโอดี/(เฮกแตร์.วัน) ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวม FWS-SF [1], แบบ SF-FWS [2] และแบบเดี่ยว FWS [3], แบบ SF [4] ซึ่งผลค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของแบบเดี่ยวจะใช้ผลการศึกษาจากเอกสารอ้างอิง [8] ซึ่งทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยวแบบ FWS และแบบ SF ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 5.2 กก. บีโอดี/(เฮกแตร์.วัน) โดยน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดเป็นน้ำเสียซึ่งมีแหล่งที่มาเดียวกันกับน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ นำผลประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของทั้งสองระบบมาเปรียบเทียบกัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป COD และ BOD ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวมทั้งสองแบบอยู่ในช่วงร้อยละ 73.9-78.9 มีค่าสูงกว่าของแบบเดี่ยวซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 63.7-75.9 เล็กน้อย และเมื่อพิจารณาค่าระยะเวลาเก็บกักของระบบแบบรวมจะน้อยกว่าแบบเดี่ยวถึง 2 เท่า ส่วนค่าประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวมอยู่ในช่วงร้อยละ 28.8-63.7, 44.1-50.4 และ 40.5-53.3 ตามลำดับ ขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยวอยู่ในช่วงร้อยละ 62.5-68.3, 68.5-75.7 และ 51.0-96.3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ทั้งแบบรวมและแบบเดี่ยวจะใกล้เคียงกัน แต่พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวมจะมีระยะเวลาเก็บกักน้อยกว่าแบบเดี่ยวถึง 2 เท่า ดังนั้นถ้าที่ระยะเวลาเก็บกักที่เท่ากัน พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวมมีแนวโน้มที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้สูงกว่าแบบเดี่ยว

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS-SF และ แบบ SF-FWS

ระบบ	OLR [5]	HRT [6]	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย(%)				
			COD	BOD	TSS	TKN	TP
FWS-SF [1]	5.1	4.0	78.7	73.9	63.7	44.1	53.3
	9.1	4.6	67.4	69.1	31.7	52.0	60.0
	12.2	5.8	58.3	34.9	33.3	43.9	72.2
SF-FWS [2]	5.1	4.0	78.9	73.9	28.8	50.4	40.5
	9.1	4.6	65.4	66.6	23.6	61.9	56.9
	12.2	5.8	33.3	31.0	24.1	23.7	67.1
FWS[3]	5.2	10.0	64.1	75.9	62.5	68.5	51.0
SF[4]	5.2	10.0	63.7	74.4	68.3	75.7	96.3

[1] และ [2] ผลจากการทดลอง

[3]และ [4] ที่มา; เอกสารอ้างอิง [8]

[5]ORL; Organic Loading Rate, อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.บีโอดี/เฮกแตร์/วัน)

[6]HRT; Hydraulic Retention Time, ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)

3.3 รูปแบบการจัดอันดับก่อน-หลังของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวม

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากันระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS-SF มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป COD, BOD, ของแข็งแขวนลอย และฟอสฟอรัสสูงกว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS เล็กน้อย ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS จะสูงกว่าแบบ FWS-SF เล็กน้อย และเมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นรูปแบบการจัดลำดับก่อน-หลังของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

3.4 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสีย

จากข้อมูลการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 3 จะเห็นได้ระบบเอเอส(AS, Activated Sludge Treatment) ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ทั่วไปในการบำบัดน้ำเสียชุมชนจะเสียค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.67 bath/ kg BOD ซึ่งมากกว่าค่าไฟฟ้าของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวม แบบ FWS-SF ซึ่งเสียค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.14 bath/ kg BOD ประมาณ 4 เท่า

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบเอเอส และ ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS-SF

	ระบบเอเอส	ระบบFWS-SF
Removal efficiency (%)	80-90[1]	70[2]
BOD removal rate (kg BOD/m^3/day)	0.08-0.09[3]	0.07[3]
ค่าไฟฟ้า (bath/m^3/day)	0.67[4]	0.14[4]
ค่าไฟฟ้า (bath/ kg BOD)	7.44-8.38[5]	2.0[5]

[1] เอกสารอ้างอิง [11]

[2] ผลที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 2

[3] ได้จากการนำค่าต่อไปนี้มาคำนวณ โดยสมมุติให้
อัตราการไหลของน้ำเสีย = 1 m^3/day
ความเข้มข้นของในน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัด BOD_5 = 100 mg/l
และค่า Removal efficiency ของทั้งสองระบบ

[4]เอกสารอ้างอิง [14, 15]

[5] ได้จากการนำค่าไฟฟ้าและ BOD removal rate มาคำนวณ

4. สรุป

4.1 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวมทั้งสองแบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป COD, BOD และของแข็งแขวนลอยได้ลดลงเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์

4.2 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวมมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป COD, BOD, ของแข็งแขวนลอย, ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้ใกล้เคียงกับระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบเดี่ยว และสามารถลดระยะเวลาเก็บกักได้น้อยกว่าครึ่งหนึ่ง

4.3 รูปแบบการจัดลำดับก่อน-หลังของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวมไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

4.5 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบรวมจะใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าระบบบำบัดแบบเอเอสซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้กันอยู่ทั่วไปประมาณ 4 เท่า

เอกสารอ้างอิง

1. กิตติ เอกอำพน และ สำอาง หอมชื่น. “การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้กกกลมและผักตบชวา,”วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม. ปีที่ 9, ฉบับที่ 1, 2530.
2. ลักษณี คณานิธินันท์. “ ประสิทธิภาพของกกกลม ธูปฤาษี อ้อ และแห้วทรงกระเทียมในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ.” วิทยานิพนธ์ วท.ม. (ภาควิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม). กรุงเทพมหานคร : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. 2539.
3. สุชาดา ปุณณสัมฤทธิ์ และคณะ., 2549. “การบำบัดน้ำทิ้งจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์.” วารสาร มฉก. วิชาการ. ปีที่ 9 ฉบับที่ 18, 2549.
4. Al-Omari, A. and Fayyad, M., “Treatment of Domestic Wastewater by Subsurface Flow Constructed Wetlands in Jordan,” Desalination, Vol. 155, 2003.
5. Brix, H., “Do macrophytes play a role in constructed wetlands?,” Water Science and Technology, Vol.35, No. 5,1997.
6. Hill, D.T. and Payton, J.D., “ Effect of Plant Fill Ratio on Water Temperature in Constructed Wetlands,” Bioresource Technology, Vol. 71, 2000.
7. Kadlec, R.H. and Knight, R.L., “Treatment wetland.” Boca Raton: Lewis, 1996.
8. Kantawanichkul, S., et al., “Treatment of agricultural wastewater in two experimental combined constructed wetland systems in a tropical climate,” Water Science and Technology. Vol. 48, No. 5, 2003.
9. Knight, R.L., et al., “Design and Performance of the Champion pilot-constructed Wetland Treatment System,” Tappi J, Vol.77, 1994.
10. Lin, Y.-F., “ Nutrient Removal from Aquaculture Wastewater Using a Constructed Wetlands System,” Aquaculture, Vol. 209, 2002.
11. Metcalf & Eddy, Inc. “ Wastewater Engineering Treatment, Disposal, and Reuse,” 3rd ed. McGraw-Hill, New York, 1991.
12. Ran, N., et al., “ A Pilot Study of Constructed Wetlands Using Duckweed (*Lemna gibba* L.) for Treatment of Domestic primary Effluent in Isarael.” Water Research. Vol. 38, 2004.
13. Reed, S.C., et al., “Natural Systems for Wastewater Management and Treatment.” 2nd ed. McGraw-Hill. New York, 1995.
14. U.S. Environmental Protection Agency, “ Analysis of Operation & Maintenance Cost for Municipal Wastewater treatment System,” Office of Water Programe, (WH-547), Washington, DC, EPA430/9-77-015, 1978.
15. U.S. Environmental Protection Agency, “ Constructed Costs for Municipal Wastewater Treatment Plants: 1973-1982. Office of Water Program Operations, Washington, DC, EPA/430/9-83-004.,1983b.