ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงแรมและรีสอร์ท โดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม

มงคล พัชรวงศ์สิริ[1*] และณรงค์ศักดิ์ เถื่อนใย[2]

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี[1*,2]

อีเมล : mongkol2019@gmail.com[1*]

*** วันที่รับบทความ** 21 ตุลาคม 2562 **วันที่แก้ไขบทความ** 2 เมษายน 2563 **วันที่ตอบรับบทความ** 13 พฤษภาคม 2563

บทคัดย่อ

ระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ ที่ทำการวิจัยนี้เพื่อแก้ไขปัญหาการปล่อยน้ำเสียของโรงแรมและรีสอร์ท ที่มีลักษณะของน้ำเสียจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นสำคัญ จากการประกอบอาหาร เศษอาหาร เครื่องปรุง และคราบน้ำมัน จากการทำความสะอาดชำระล้าง ผงซักฟอกและน้ำยาล้างห้องน้ำ เป็นหลัก ดังนั้นการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมทดลอง สลับใช้พืช 4 ชนิด ผักกูด บัวอเมซอล เตยหอม และบัวบก เพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงแรมและรีสอร์ทของพืชแต่ละชนิด การทดลองพบว่า น้ำเสียที่ไหลผ่านระบบบำบัดพื้นที่ชุมน้ำประดิษฐ์ผสม โดยพื้นที่ชุมน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน 1 ถัง ที่อัตราการไหล 0.1221 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านตัวกลาง 2 ถัง ที่อัตราการไหล 0.1361 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระยะเวลาผ่านระบบ 9 วัน การทดลองพบว่าพืชที่มีผลบำบัดดีที่สุด คือ ผักกูด โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด ค่าบีโอดี ร้อยละ 94.27, ค่าซีโอดี ร้อยละ 96.67, ค่าของแข็งละลายน้ำ ร้อยละ 25.72, ค่าสารแขวนลอย ร้อยละ 95.62, ค่าน้ำมันและไขมัน ร้อยละ 99.60 ค่าทีเคเอ็น ร้อยละ 92.67, และค่าความเป็นกรดและด่าง อยู่ที่ 6.70 และมีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : บำบัดน้ำเสีย โรงแรม รีสอร์ท ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ การบำบัดน้ำเสียด้วยพืช

Efficiency of Hotels and Resorts' Wastewater Treatment by Using Combined Constructed Wetlands

Mongkol Patcharavongsiri[1*] and Narongsak Theanyai[2]
Faculty of Industrial Technology Kanchanaburi Rajabhat University[1*,2]
E-mail: mongkol2019@gmail.com[1*]

* **Received:** October 21, 2019 **Revised:** April 2, 2020 **Accepted:** May 13, 2020

Abstract

Biological wastewater treatment system in this research was aimed to solve the problem of wastewater discharging of hotels and resorts, particularly in wastewater from human activities. The major focus was wastewater from kitchen such as food scraps, cooking, seasonings, oil stains and cleansing agent form clothes washing and bathroom cleaning. Therefore, combined constructed wetlands was used in the experiment with 4 types of plants including Paco fern Burhead, Pandan leaves, and gotu kola, in order to find their treatment efficiency of wastewater from hotels and resorts. In the experiment, wastewater flowed through combined constructed wetlands system with 1 tank using horizontal flow type constructed wetlands system, flow rate at 0.1221 cubic meter per day and 2 tanks using vertical flow type constructed wetlands system flow rate at 0.1361 cubic meter per day with duration of the system for 9 days. The experiment found that the best treatment plant was Paco fern which provided efficiency treatment with Biochemical Oxygen Demand (BOD) 94.27%, Chemical Oxygen Demand (COD) 96.67%, Total Dissolved Solids (TDS) 25.72%, Suspended Solids (SS) 95.62%, Fat Oil and Grease 99.6%, Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) 95.37%, pH value 6.70. This quality has passed the standard of Wastewater Standards by the Pollution Control Department Ministry of Natural Resources and Environment.

Keywords: wastewater treatment, hotels, resorts, constructed wetlands systems, wastewater treatment with plants

1. บทนำ

จังหวัดกาญจนบุรี เป็นจังหวัดที่มีทรัพยากรธรรมชาติ เช่น น้ำตก ภูเขา แม่น้ำ เป็นต้น เป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของประเทศ ปัจจุบันในปี 2561มีจำนวนนักท่องเที่ยวที่มีการพักค้างคืน ภายในจังหวัด เป็นนักท่องเที่ยวไทย 831,169 คน และนักท่องเที่ยวต่างชาติ 46,425 คน โดยมีการเพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้า ร้อยละ 6.35 [1] จึงทำให้ธุรกิจโรงแรมที่พักในจังหวัดกาญจนบุรี ต้องปรับตัวให้เป็นสากลและสร้างจุดขายในการโฆษณาประชาสัมพันธ์ ในหลักการการจัดการสิ่งแวดล้อมในธุรกิจโรงแรม โดยให้ความสำคัญกับความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงภายในองค์ประกอบทุกส่วนของระบบธรรมชาติ และผลกระทบจากการออกแบบเพื่อไม่ก่อให้เกิดปัญหา ดำเนินงานอย่างมีความรับผิดชอบ [2] โรงแรมเป็นสถานประกอบการที่ให้บริการแก่นักท่องเที่ยว การดำเนินกิจกรรมของโรงแรมจึงมุ่งเน้นที่ความสะดวกสบายเพื่อสร้างความพึงพอใจแก่นักท่องเที่ยว การให้บริการในห้องพัก ห้องอาหาร สถานบันเทิง ห้องออกกำลังกาย สระว่ายน้ำ สปา สวน งานซักรีดและการทำความสะอาด กิจกรรมทั้งหมดก่อให้เกิดน้ำเสียจำนวนมาก เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม ปริมาณน้ำเสียจากโรงแรมอยู่ในช่วง 1,000 ลิตรต่อห้องต่อวัน น้ำเสียจะมีองค์ประกอบที่มีปริมาณมากจะกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ จุลลินทรีย์ [3]

ปัจจุบันการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่กลมกลืนกับสิ่งแวดล้อมใช้พลังงานน้อย ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ [4] และมีศักยภาพที่จะบำบัดได้ตรงกับแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากชุมชน โรงแรม รีสอร์ทที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ สารอินทรีย์ สารอาหารและของแข็งแขวนลอย [5] ระบบที่จำลองแบบพื้นที่ชุ่มน้ำ (บึงประดิษฐ์) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยกระบวนการทางธรรมชาติ ผสมผสานการปลูกพืช มีลักษณะคล้ายกับพื้นที่ชุ่มน้ำ ระบบบำบัดนี้เป็นระบบที่ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ มีค่าใช้จ่ายในการดูแลต่ำ ดูแลรักษาง่ายรวมทั้งไม่ต้องการใช้บุคลากรที่มีความรู้ความชำนาญมากในการดูแลระบบซึ่งในระยะยาวแล้วจะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความยั่งยืน [6] การนำระบบบำบัดน้ำเสียมาใช้ ต้องใช้ดินและบดอัดดินให้แน่น เพื่อปลูกพืช เน้นการบำบัดโดยใช้ระบบพืชกรองน้ำเสียโดย พืชกรอง น้ำเสียหมายถึง ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พืชในการกรองหรือฟอกน้ำให้สะอาดขึ้น อันเป็นผลมาจากพืชจะดูดซับธาตุอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสียนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน ระบบพืชกรองน้ำเสียสามารถรองรับการใช้งานได้ในระยะยาว เมื่ออายุของหญ้าครบระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดควรมีการตัดหญ้านั้นออกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดให้กับระบบ หญ้าที่ตัดออกเหล่านี้สามารถนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ได้ [7]

น้ำเสียเป็นปัญหาต่อเนื่องที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอย่างมากมาย จังหวัดกาญจนบุรี เป็นจังหวัดหนึ่งที่มีอุตสาหกรรมธุรกิจการท่องเที่ยวที่จุดขายด้วยความเป็นธรรมชาติ และสิ่งที่มีผลตามมา คือปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมไม่ว่าเป็นขยะมูลฝอย น้ำเสียจากแหล่งต่าง ๆ ซึ่งอาจจากจำนวนนักท่องเที่ยวที่มีมากขึ้น มีการใช้น้ำมากขึ้น ก็เกิดน้ำเสียมาก และอาจเกิดจากการขาดการดูแลที่ดีจากผู้ที่รับผิดชอบ โดยส่วนมากน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากโรงแรม รีสอร์ท บ้านพักอาศัย ร้านอาหารและภัตตาคารต่าง ๆ จะเป็นน้ำเสียที่มีสารเคมีน้อยกว่าที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ แต่จะเป็นน้ำเสียที่เกิดจากสารสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะก่อเกิดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น และคราบน้ำมันเป็นส่วนใหญ่ จึงควรมีการบำบัดโดยใช้ระบบที่จำลองแบบพื้นที่ชุ่มน้ำ (บึงประดิษฐ์) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยพืช 4 ชนิด

2.2 เพื่อเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมกับมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

3.1 ศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ แบบผสมระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน และระบบบำบัดน้ำเสียระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง

3.2 ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ นำพืช 4 ชนิด ผักกูด เตยหอม บัวอเมซอน และบัวบก ช่วยในการบำบัดน้ำเสียจากโรงแรม รีสอร์ท บ้านพักอาศัย

4. วิธีการวิจัย

4.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

4.1.1 ถังบำบัดน้ำเสียพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

1) ถังบำบัดที่ 1 มีสัดส่วนระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน ใช้หินขนาด ¾ นิ้ว ใส่ลงที่ถัง มีความยาวของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ 1.12 เมตร ความกว้าง 0.97 เมตร ความลึกชั้นหิน 0.42 เมตร ช่องว่างระหว่าง 0.47 เมตร ความลึกของน้ำ 0.14 เมตร ระยะเก็บกักน้ำ 3 วัน ดังรูปที่ 1 (ก)

2) ถังบำบัดที่ 2 และ 3 มีสัดส่วนระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง ใช้หินขนาด ¾ นิ้ว มีความยาวของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ 1.12 เมตร ความกว้าง 0.97 เมตร ความลึกชั้นหิน 0.8 เมตร ช่องว่างระหว่าง 0.47 เมตร ระยะเก็บกักน้ำ 3 วันต่อถัง ดังรูปที่ 1 (ข)

4.1.2 การคำนวณอัตราภาระรับน้ำทางชลศาสตร์ของถังบำบัดน้ำเสีย อัตราภาระรับน้ำทางชลศาสตร์และภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ โดยกำหนดค่าอัตราการไหลของแต่ละชุดการทดลองแล้วนำมาคำนวณหาระยะเวลาเก็บกักน้ำในแต่ละชุดการทดลอง โดยใช้สูตรการคำนวณของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

1) พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว [8] คำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$Q = \frac{LW\, d_n n + d_w}{t} \qquad (1)$$

$$= \frac{1.12 \times 0.97\left[0.42 \times 0.47 + 0.14\right]}{t} \qquad = \frac{1.0865\left[0.1974 + 0.14\right]}{3}$$

$$= \frac{0.36655}{3} \qquad = 0.1221\ m^3/d$$

2) พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง [9] คำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$Q = \frac{LWd_w n}{t} \quad (2)$$

$$= \frac{1.12 \times 0.97 \;\; 0.8 \times 0.47}{3} = \frac{1.086 \;\; 0.376}{3}$$

$$= \frac{0.4084}{3} = 0.1361 \; m^3/d$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำ (ลูกบาศก์เมตร/วัน)

L = ความยาวของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (เมตร)

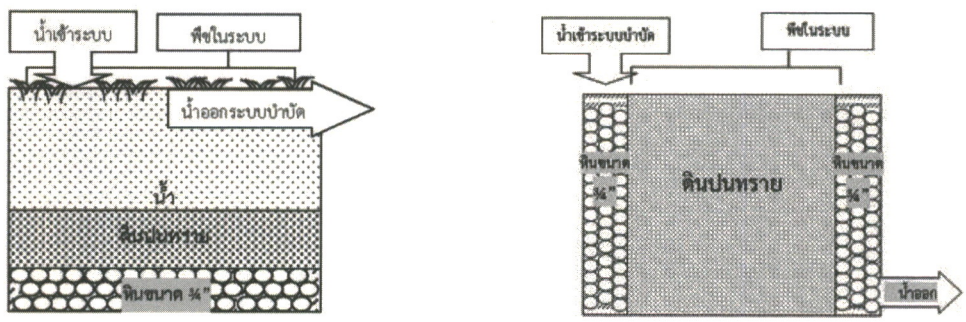
W = ความกว้างของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (เมตร)

d_n = ความลึกของชั้นดิน (เมตร)

d_w = ความลึกของน้ำ (เมตร)

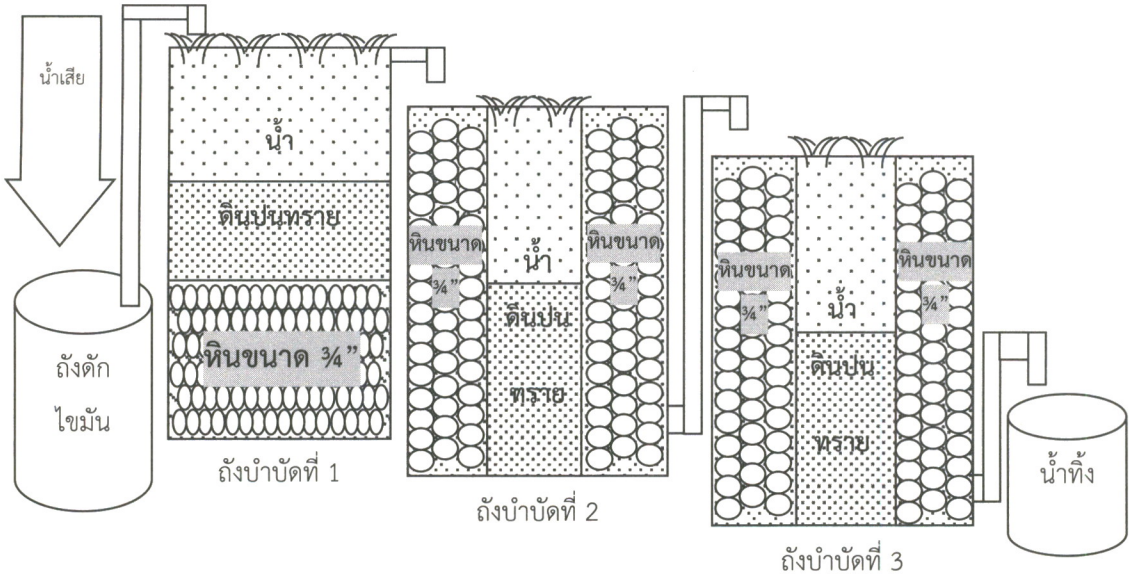
n = อัตราช่องว่างดิน

t = ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (วัน)



(ก) (ข)

รูปที่ 1 (ก) องค์ประกอบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ แบบไหลผ่านผิวดิน (ข) องค์ประกอบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง



รูปที่ 2 ระบบบำบัดน้ำเสียระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดินและแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง

4.1.3 การเก็บข้อมูลน้ำเสียจากโรงแรม น้ำเสียจากชุมชน โรงแรมใช้น้ำทิ้งที่เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากปลายท่อระบายน้ำโสโครกหรือบ่อพัก ที่ออกจากอาคารและ จุดที่สำคัญจุดหนึ่งที่จะต้องเก็บก็คือ จุดที่มีการระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งรองรับน้ำทิ้ง ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ โรงแรมในตำบลท่าเสา อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี

4.1.4 การเตรียมพืช พืชที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้คือเตยหอม บัวอเมซอล ผักกูด และบัวบก โดยทำการคัดเลือกพืชที่มีขนาดใกล้เคียงกันแล้วนำมาปลูกในแบบจำลองโดยมีระยะปลูกระหว่างต้นห่างกัน 0.15 เมตร มีความหนาแน่นเท่ากับ 16 ต้นต่อตารางเมตร การเลือกพืชที่มีอายุประมาณ 6 - 20 วัน มีจำนวนใบต่อต้นใกล้เคียงกัน โดยทิ้งช่วงระยะเวลาให้พืชพักตัวในแบบจำลองก่อนเริ่มการทดลองประมาณ 2 – 3 สัปดาห์ โดยพืชนั้นช่วยเพิ่มพืชจะดูดซับธาตุอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสียนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน ซึ่งเป็นการใช้สารธรรมชาติเป็นตัวกรองน้ำ นอกจากนี้ยังช่วยปรับภูมิทัศน์ให้ดีสวยงามได้

4.2 วิธีการทดลอง

ระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม พืชที่ใช้ในระบบ ได้แก่ ผักกูด เตยหอม บัวอเมซอน และบัวบก โดยใช้ ถังบำบัดที่ 1 เป็นระบบบำบัดน้ำเสียระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน ถังบำบัดที่ 2 และ 3 เป็นระบบบำบัดน้ำเสียระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง ดังรูปที่ 2 ในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.2.1 นำน้ำเสียจากการเก็บตัวอย่าง ใส่ลงในถังดักไขมันเพื่อแยกไขมันออกจากน้ำเสียก่อนเข้าระบบซึ่งจะทดลองด้วยพืช แต่ละชนิดที่ละตัวซึ่งเมื่อมีการปรับเปลี่ยนพืชจะต้องเปลี่ยนหิน ดินและทรายในระบบใหม่ทั้งหมด

4.2.2 ปรับอัตราการไหลตามการคำนวณอัตราภาระรับน้ำทางชลศาสตร์ของถังบำบัดน้ำเสียใช้ค่าน้อยที่สุดเป็นเกณฑ์ อยู่ที่ 0.1221 m^3/d

4.2.3 ตรวจสอบการเจริญเติบโตของพืชและคุณภาพน้ำเสีย ทั้งก่อนเข้าระบบ ระหว่างอยู่ในระบบ ออกจากระบบตามรูปแบบการเก็บตัวอย่างในหัวข้อ 4.3

4.2.4 นำค่าน้ำเสียออกจากระบบเปรียบเทียบกับ เกณฑ์คุณภาพมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ [3]

4.3 การเก็บตัวอย่าง

ช่วงระยะเวลาการเดินระบบบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 2 เดือน หลังจากนั้นทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลการศึกษา โดยละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 การเก็บตัวอย่างพืช โดยทำการวัดอัตราการเจริญเติบโตของพืชโดยวัดความสูงทุกอาทิตย์ และสังเกตการเจริญเติบโตของพืชในระบบ เช่น ภาวะชีด ลักษณะที่ผิดปกติทางกายภาพ เช่น แคระ แกรน เป็นต้น

4.3.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้าระบบ ถังที่ 1 ถังที่ 2 ถังที่ 3 และจุดน้ำออกจากระบบ เพื่อทำการวัดค่า COD, BOD, OIL and Grease, pH, SS,TDS, TKN

4.3.3 ตรวจวัดสภาวะแวดล้อมภายในระบบโดยจะทำการวัดค่า pH และอุณหภูมิ ทุกสามวันภายในระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ

4.4 การบำรุงรักษาและระยะเวลาการใช้งานระบบพืชกรองน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ เป็นกระบวนการที่อาศัยพืชช่วยในการดูดสารอาหารจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในดิน เพื่อนำไปใช้ในการสร้างความเจริญเติบโตของต้นพืช เมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่การดูดสารอาหารก็จะลดลงตามระยะเวลา และชนิดของพืชนั้น ๆ ดังนั้นการเจริญเติบโตของพืชและชนิดของพืช จึงมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ รวมถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ของพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อถึงระยะเวลาจึงต้องทำการตัดออกไปใช้ประโยชน์ต่อไป ซึ่งเท่ากับเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบพืชกรองน้ำเสีย นอกจากนี้ทุก 1 ปี ต้องทำการถอนต้นพืชที่หนาแน่นบางส่วนออกจากระบบเพื่อให้เกิดช่องว่างมากขึ้น ทำให้แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านลงไปในน้ำได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้ดีขึ้น พืชกรองน้ำเสีย สามารถรองรับการใช้งานได้ในระยะยาว จึงไม่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงระบบ เพียงแต่ปล่อยให้ระบบได้มีการพักตัวประมาณ 1 สัปดาห์ [10] หลังจากการปล่อยน้ำแห้ง หากมีปริมาณน้ำเสียน้อยกว่าหรือมากกว่าสามารถทำได้โดยการขยายหรือลดพื้นที่การบำบัด เนื่องจากระยะทางมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

5. ผลการดำเนินการวิจัย

การศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพต้นแบบ โดยใช้ระบบบำบัดนำเสียแบบผสมระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน และระบบบำบัดน้ำเสียระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง และนำพืชช่วยในการบำบัดน้ำเสีย โดย ทดลองเปรียบเทียบผลการบำบัดด้วยพืช ผักกูด บัวอเมซอน เตยหอม บัวบก และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ [3] ดังนี้

BOD ต้องมีค่าไม่เกิน 20mg/L Fat, Oil and Grease ต้องมีค่าไม่เกิน 5 mg/L

pH ต้องมีค่าไม่เกิน 5.0-9.0 COD ต้องมีค่าไม่เกิน 120 mg/L

SS ต้องมีค่าไม่เกิน 30 mg/L TKN ต้องมีค่าไม่เกิน 20 mg/L

TDS ต้องมีค่าไม่เกิน 500 mg/L

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยตามตารางที่ 1 ทุกพารามิเตอร์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ ทุกพารามิเตอร์

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ก่อน - หลังการบำบัดด้วยพืชแต่ละชนิด

พืช	ค่ามาตรฐาน						
	BOD	Fat , Oil and Grease	pH	COD	SS	TKN	TDS
	ต้องมีค่าไม่เกิน 20mg/L	ต้องมีค่าไม่เกิน 5 mg/L	ต้องมีค่าระหว่าง 5.0-9.0	ต้องมีค่าไม่เกิน 120 mg/L	ต้องมีค่าไม่เกิน 30 mg/L	ต้องมีค่าไม่เกิน 20 mg/L	ต้องมีค่าไม่เกิน 500 mg/L
น้ำเสียเริ่มต้น	192	83.67	5.9	180	274	114.8	552
ผักกูด	11	0.33	6.7	6	12	17.92	410
บัวอเมซอน	3	ND	7.3	28	12	5.32	500
เตยหอม	0	ND	7.3	28	2	0.28	482
บัวบก	0	ND	7.8	23	2	0.28	425

5.1 การใช้ผักกูดเป็นพืชช่วยในการบำบัดน้ำเสียในระบบ

โดยการลงปลูกในระบบบำบัดนำเสียแบบผสมระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน และระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง พบว่าผักกูดมีการเจริญเติบโต เริ่มแตกยอดอ่อนในสัปดาห์ที่ 2 และเริ่มแตกรากฝอยในสัปดาห์ที่ 3 แต่จะมีของแตกต่างที่ถังที่ 1 ที่เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน การเติบโตสูงไม่เท่าถังที่ 2 และถังที่ 3 ที่เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง น้ำที่ออกมาใส ไม่มีกลิ่น มีตะกอนเล็กน้อย โดยมีผลการบำบัด ดังตารางที่ 1

5.2 การใช้บัวอเมซอลเป็นพืชช่วยในการบำบัดน้ำเสียในระบบ

โดยการลงปลูกในระบบบำบัดนำเสียแบบผสมระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน และระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง พบว่าบัวอเมซอล มีการเจริญเติบโต เริ่มแตกยอดอ่อนและเริ่มมีการแตกรากฝอย ในสัปดาห์ที่ 2 และสูงขึ้นจากเดิม เมื่อเปรียบเทียบจากสัปดาห์ที่ 1 เริ่มต้นปลูกจะมีความแตกต่างกันโดยถังที่ 1 ที่เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน การเติบโตสูงไม่เท่าถังที่ 2 และถังที่ 3 ที่เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง น้ำที่ออกมาใส ไม่มีกลิ่นมีตะกอนเล็กน้อยโดยมีผลการบำบัด ดังตารางที่ 1

5.3 การใช้เตยหอมเป็นพืชช่วยในการบำบัดน้ำเสียในระบบ

โดยการลงปลูกในระบบบำบัดนำเสียแบบผสมระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน และระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง พบว่าเตยหอมมีการเจริญเติบโต เริ่มแตกยอดอ่อนและเริ่มมีการแตกรากฝอย ในสัปดาห์ที่ 2 มีกลิ่นหอมใบเตย เมื่อเปรียบเทียบจากสัปดาห์ที่ 1 เริ่มต้นปลูก แต่จะมีของแตกต่างที่ถังที่ 1 ที่เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน การเติบโตสูงไม่เท่าถังที่ 2 และถังที่ 3 ที่เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง น้ำที่ออกมาใส ไม่มีกลิ่น ไม่มีตะกอนเล็กโดยมีผลการบำบัด ดังตารางที่ 1

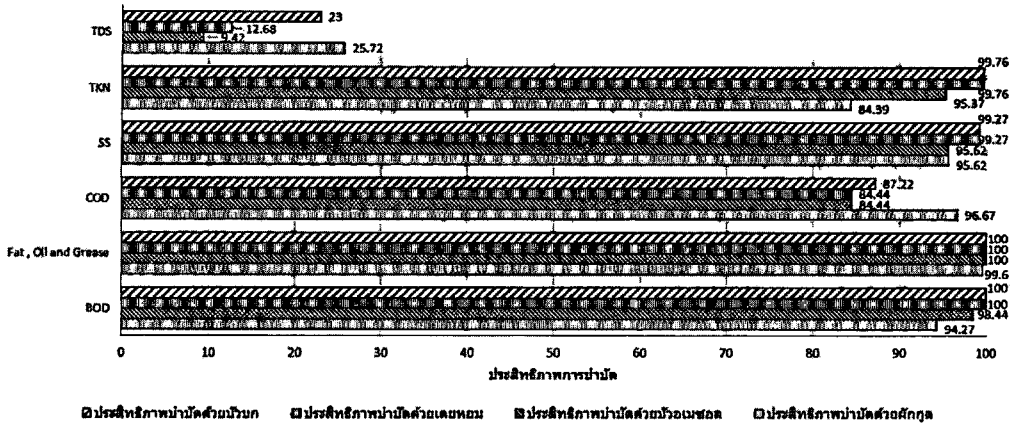
5.4 จากการใช้บัวบกเป็นพืชช่วยในการบำบัดน้ำเสียในระบบ

โดยการลงปลูกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบผสมระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน และระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง พบว่า บัวบกมีการเจริญเติบโต เริ่มแตกยอดอ่อนและเริ่มมีการแตกรากฝอย ในสัปดาห์ที่ 2 เมื่อในการเดินระบบ โดยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของบัวบกเก็บ ข้อมูลจาก ราก ใบ และลำต้น พบว่าเติบโตค่อนข้างช้า ถังที่ 1 ที่เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน การเติบโตสูงไม่เท่าถังที่ 2 และถังที่ 3 ที่เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง ดังตารางที่ 1

5.5 ประสิทธิภาพการบำบัดของพืช

5.5.1 เมื่อนำพืชทั้ง 4 ชนิด ผักกูด บัวอเมซอน เตยหอม บัวบก หาค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของบึงประดิษฐ์ ดังรูปที่ 3 โดยทำการเก็บข้อมูลน้ำเสียก่อนเข้าระบบ น้ำที่ผ่านระบบบำบัดแล้วพิจารณาตามค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าของแข็งละลายน้ำ ค่าสารแขวนลอย ค่าน้ำมันและไขมันและ ค่าทีเคเอ็น จากสมการที่ 3 ในการหาประสิทธิภาพการบำบัด [11]

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัด (\%)} = \frac{\text{ค่าน้ำเสียเริ่มต้น-ค่าน้ำที่ผ่านระบบบำบัด}}{\text{ค่าน้ำเสียที่เริ่มต้น}} \times 100 \qquad (3)$$



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

6. สรุปผลการวิจัย

6.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

6.1.1 ค่าบีโอดี จากการวิจัยค่าบีโอดี ของน้ำเสียก่อนเข้ากระบวนการบำบัดด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน 1 ถัง และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านใต้ผิวดิน 2 ถัง โดยใช้พืช ผักกูด บัวอเมซอน เตยหอม บัวบก ค่าบีโอดี เริ่มต้น 192 mg/L หลังจากผ่านการบำบัด พบว่าเมื่อใช้ เตยหอม และ บัวบก ค่าบีโอดี 0 mg/L และเมื่อใช้ผักกูดค่าบีโอดีมีค่าสูงสุด 11 mg/L ดังนั้นประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ส่งผลต่อค่าบีโอดี เมื่อใช้ เตยหอม และ บัวบก คิดเป็น 100% และเมื่อใช้ผักกูด คิดเป็น 94.27% และพืชทั้ง 4 ชนิดผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ BOD ต้องมีค่าไม่เกิน 20mg/L

6.1.2 ค่าน้ำมันและไขมันน้ำเสียที่มาจากแหล่งที่พัก โรงแรม ชุมชนจะมีการประกอบอาหารที่มีไขมันและน้ำมันปะปนอยู่ในน้ำเสียเป็นจำนวนมาก ลักษณะการทิ้งน้ำเสีย เป็นการระบายออกท่อระบายน้ำ คูคลองและแม่น้ำโดยตรง จากการทดลองน้ำเสียก่อนเข้ากระบวนการบำบัดด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน 1 ถัง และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านใต้ผิวดิน 2 ถัง โดยใช้พืช ผักกูด บัวอเมซอน เตยหอม บัวบก ค่าน้ำมันและไขมันเริ่มต้นอยู่ที่ 83.67mg/L สูงกว่าค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ ต้องมีค่าไม่เกิน 5 mg/L [7] หลังจากผ่านการบำบัด พบว่าเมื่อใช้ บัวอเมซอน เตยหอม บัวบกไม่สามารถตรวจพบค่าน้ำมันและไขมัน และเมื่อใช้ผักกูดค่าน้ำมันและไขมัน 0.33 mg/L ดังนั้นประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ส่งผลต่อค่าน้ำมันและไขมันเมื่อใช้ บัวอเมซอน เตยหอม บัวบก คิดเป็น 100% และเมื่อใช้ผักกูด คิดเป็น 99.6% และผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษต้องมีค่าไม่เกิน 5.0-9.0 [7]

6.1.3 ค่าความเป็นกรดและด่าง แหล่งที่มาของน้ำเสีย จากโรงแรม รีสอร์ท ชุมชน มักจะมีการใช้สารเคมีในการล้าง ทำความสะอาดบางชนิดมีฤทธิ์เป็นกรดเข้มข้น บางชนิดเป็นมีฤทธิ์เป็นด่างเข้มข้น รวมถึงเครื่องปรุงในการทำครัวเช่น น้ำส้มสายชู น้ำเสียก่อนเข้ากระบวนการบำบัดด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน 1 ถัง และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านใต้ผิวดิน 2 ถัง โดยใช้พืช ผักกูด บัวอเมซอน เตยหอม บัวบก ค่าความเป็นกรดและด่างเริ่มต้น 5.9 มีฤทธิ์เป็นกรด หลังจากผ่านการกระบวนบำบัด พบว่าเมื่อใช้ บัวอเมซอน เตยหอม บัวบก สามารถทำให้ค่าความเป็นกรดและด่างอยู่ในช่วง เป็นกลาง คือ 6.7 - 7.8 ซึ่งพืชทั้งหมดที่ใช้กับกระบวนการบำบัดน้ำเสียมีความสามารถในการบำบัดให้ เป็นกลางไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ

6.1.4 ค่าซีโอดี จากการวิจัยค่าซีโอดี ของน้ำเสียก่อนเข้ากระบวนการบำบัดด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน 1 ถัง และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านใต้ผิวดิน 2 ถัง โดยใช้พืช ผักกูด บัวอเมซอน เตยหอม บัวบก ค่าซีโอดี เริ่มต้น 180 mg/L สูงกว่าค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ ต้องมีค่าไม่เกิน 120 mg/L [7] หลังจากผ่านการบำบัด พบว่าเมื่อใช้ บัวอเมซอน เตยหอม ค่าซีโอดี 28 mg/L เมื่อใช้บัวบก ค่าซีโอดี 23 mg/L เมื่อใช้ผักกูด ค่าซีโอดีเหลือต่ำสุด 6 mg/L ดังนั้น ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ส่งผลต่อค่าซีโอดี เมื่อใช้ผักกูด คิดเป็น 96.67% พืชทั้ง 4 ชนิดผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ

6.1.5 ค่าสารแขวนลอย น้ำเสียมีค่าสารแขวนลอยมีสิ่งปะปนสูง ค่าสารแขวนลอยเริ่มต้น 274 mg/L สูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษมีค่าไม่เกิน 30 mg/L [7] น้ำเสียก่อนเข้ากระบวนการบำบัดด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน 1 ถัง และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านใต้ผิวดิน 2 ถัง โดยใช้พืช ผักกูด บัวอเมซอน เตยหอม บัวบก พบว่าเมื่อใช้พืช ผักกูด บัวอเมซอน ค่าสารแขวนลอย มีค่า 12 mg/L และเมื่อใช้พืช เตยหอม บัวบก ค่าสารแขวนลอย มีค่า 2 mg/L ดังนั้น ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ส่งผลต่อค่าสารแขวนลอย

6.1.6 ค่าทีเคเอ็น จากการวิจัยค่าทีเคเอ็นของน้ำเสียก่อนเข้ากระบวนการบำบัดด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน 1 ถัง และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านใต้ผิวดิน 2 ถัง โดยใช้พืช ผักกูด บัวอเมซอน เตยหอม บัวบก ค่าทีเคเอ็น เริ่มต้น 114.8 mg/L สูงกว่าค่ามาตราฐานน้ำเสียของกรมควบคุมมลพิษมีค่าทีเคเอ็นไม่เกิน 20 mg/L [7] หลังจากผ่านการบำบัด พบว่า เมื่อใช้พืชเตยหอมและบัวบกในการบำบัดน้ำเสีย ค่าทีเคเอ็น 0.28 mg/L ใช้พืชบัวอเมซอล ในการบำบัดน้ำเสียค่าทีเคเอ็น 5.32 mg/L และใช้พืชผักกูดในการบำบัดน้ำเสียค่าทีเคเอ็น 17.92 mg/L ดังนั้น ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ส่งผลต่อค่าทีเคเอ็นดีที่สุด เมื่อใช้เตยหอม บัวบก คิดเป็น 99.76 % และพืชทั้ง 4 ชนิด ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ

6.1.7 ค่าของแข็งละลายน้ำ จากการวิจัยค่าของแข็งละลายน้ำ ของน้ำเสียก่อนเข้ากระบวนการบำบัดด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน 1 ถัง และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านใต้ผิวดิน 2 ถัง โดยใช้พืช ผักกูด บัวอเมซอน เตยหอม บัวบก ค่าทีดีเอส เริ่มต้น 552 mg/L สูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำเสียของกรมควบคุมมลพิษมีค่าไม่เกิน 500 mg/L [7] หลังจากผ่านการบำบัดน้ำเสีย พบว่าเมื่อใช้พืช ผักกูด บัวบก เตยหอม และ บัวอเมซอล เรียงลำดับตามความสามารถในการบำบัดน้ำเสียที่ส่งผลต่อค่าทีดีเอส ดังนี้ 410 425 482 และ 500 mg/L ดังนั้นประสิทธิภาพ

การบำบัดน้ำเสียที่ส่งผลต่อค่าทีดีเอส ดีที่สุด เมื่อใช้ผักกูด คิดเป็น 25.72 % และพืชทั้ง 4 ชนิด ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ

ผลการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม พืชที่ใช้ในระบบ ได้แก่ ผักกูด เตยหอม บัวอเมซอน และบัวบก พบว่า เมื่อน้ำเสียผ่านระบบบำบัดมีคุณภาพดีขึ้น น้ำมีสีใสขึ้น ไม่มีกลิ่นเหม็น และไม่มีคราบไขมัน โดยถังบำบัดที่ 1 เป็นระบบบำบัดน้ำเสียระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน มีอัตราการไหล 0.1221 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน น้ำเสียที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน จะมีกระบวนการทางกายภาพที่ตกตะกอนของของแข็งและบำบัดสารอินทรีย์ภายในตัวกลางสอดคล้องกับงานวิจัยของ โสมนัสและคณะ[12] ที่ใช้ผักคราดหัวแหวนและพุทธรักษาในการบำบัดลดค่าซีโอดีอย่างมีประสิทธิภาพ ถังบำบัดที่ 2 และ 3 เป็นระบบบำบัดน้ำเสียระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง มีอัตราการไหลถังละ 0.1361 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จะมีกระบวนการกรองผ่านผิวชั้นหินและดินซึ่งมีจุลินทรีย์ โดยใช้ระยะเวลา 9 วัน ในการเดินระบบจุลินทรีย์ในดิน และบริเวณรากพืชจะเป็นตัวสลายสารอินทรีย์ ทำให้พืชได้ดูดไปใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งถือว่าเป็นข้อได้เปรียบของพื้นที่เขตร้อนที่พืชจะสามารถเจริญได้ดีกว่าเขตอบอุ่น [4], [8], [10] จากการวิจัยที่ใช้พืชที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น บัวบก และเตยหอมนั้น มีประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุดในการบำบัดน้ำเสียจากพืชทั้ง 4 ชนิด ในการบำบัดน้ำเสียได้ และมีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง จากกระบวนการบำบัดด้วยการนำพืชมาใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย และเน้นการบำบัดไม่ใช้สารเคมี ต้นทุนและพลังงานในระบบไม่สูงมาก และสามารถปรับเปลี่ยนตามพื้นในการออกแบบได้ และยังสามารถนำพืชในระบบบำบัดมาใช้ประโยชน์ได้

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ระยะเวลาการใช้งานของระบบบำบัดจะขึ้นอยู่กับน้ำเสียและตะกอนที่เกาะอยู่ในดิน จึงต้องทำการพักหน้าดิน

7.2 พืชมีการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดไม่เท่ากัน จึงมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ รวมถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ของพืชแต่ละชนิดที่สามารถดูดซับสารในน้ำเสีย

7.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมหากมีปริมาณน้ำเสียมากขึ้นสามารถขยายระบบตามความต้องการ และสามารถเลือกพืชให้เหมาะสมกับพื้นที่ มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ

7.4 ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมด้านผลกระทบของอุณหภูมิต่อศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากพื้นที่เป็นเขตร้อนชื้น

7.5 พืชแต่ละชนิดมีการดูดซึมธาตุอาหารแต่ละชนิดไม่เท่ากันตามความต้องการของพืชควรศึกษาและเลือกใช้ให้เหมาะสมเพื่อเพิ่มศักยภาพการบำบัด

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Department of Tourism, Ministry of Tourism and Sports. Tourist statistics year 2018 [Internet]. [Access at 2019 August 19]. Retrieved from: https://www.mots.go.th/more_news.php?cid=531. (in Thai)

[2] Jentrakulroj V, Pangkesorn A, Boonpalit A. The Design Guideline for Ecological Friendly Resorts. Veridian E-Journal, Silpakorn University (Humanities, Social Sciences and arts) 2017; 2641-52. (in Thai)

[3] Pollution Control Department. Guide for management wastewater from buildings, hotels [Internet]. 2016 [Access at 2019 August 20]. Retrieved from: http://slbkb.psu.ac.th/xmlui/handle/2558/2817?locale-attribute=en. (in Thai)

[4] Panrare, A. Sohsalam, P. Tondee, T. Constructed wetland for sewage treatment and thermal transfer reduction. Energy Procedia. 2015; 567-75.

[5] YE, Fenxia; LI, Ying. Enhancement of nitrogen removal in towery hybrid constructed wetland to treat domestic wastewater for small rural communities. Ecological Engineering, 2009, 35.7: 1043-50.

[6] Ngamzhaluai J, Akamphon K, Jindarojana J. Assessment of Economic Benefits From Improvement of Water Use Efficiency in Sugar Factory: Case Study of Mitr Phu Viang Sugar Mill in Khon Kaen Province. KKU Research Journal (Graduate Studies), 2012, 12.3: 1-7. (in Thai)

[7] Pollution Control Department. Summary of guidelines for design wastewater collection systems and community water quality improvement plants, book 1. Bangkok: The Environmental Engineering Association of Thailand; 2003. (in Thai)

[8] Reed, Sherwood, et al. Water reuse for sludge management and wetland habitat. Water Science and Technology. 1996; 33.10-11: 213-219.

[9] Metcalf, Leonard, Harrison P. Eddy, and Georg Tchobanoglous. Wastewater engineering. New York: McGraw-Hill; 1979.

[10] Yimrattanabovorn J. Combined Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Small Community. School of Environmental Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology. Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology; 2007. (in Thai)

[11] Thongphrom S. Efficiency of Peat Swamp Forest as Natural Wetland for Wastewater Treatment of Ban Mai Khao Community, Thalang District in Phuket Province. Journal of Food Health and Bioenvironmental Science, 2014, 7.3: 1-16. (in Thai)

[12] Somprasert S, Nilratnisakorn S. Sarnpra P, Podam S. Efficiencies of Constructed Wetland Systems Using Native Plants for Treatment of Strong Acidity Wastewater. Thai Environmental Engineering Journal, 2016, 30.1: 49-57. (in Thai)