

ประสิทธิภาพป่าพรุพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนบ้านไม้ขาว
อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต**

Efficiency of Peat Swamp Forest as Natural Wetland for Wastewater Treatment
of Ban Mai Khao Community, Thalang District in Phuket Province**

สายธาร ทองพร้อม*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

Saithan Thongphrom*

Faculty of science, Phuket Rajabhat University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของป่าพรุซึ่งเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนบ้านไม้ขาว อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต การหาประสิทธิภาพของพรุในการบำบัดน้ำเสีย โดยเปรียบเทียบคุณภาพน้ำก่อนและหลังผ่านป่าพรุ จากตัวอย่างน้ำเสียจำนวน 4 จุด คือ จุดแรกจากบริเวณ ท่อน้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่พรุทุ่งเตียน จุดที่ 2 และจุดที่ 3 บริเวณน้ำเสียที่ขังอยู่ในพรุ และจุดสุดท้ายน้ำเสียที่ผ่านพรุก่อนออกสู่ทะเล โดยใช้วิธีเก็บตัวอย่างแบบจ้วง (Grab Sampling) ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ทางด้านกายภาพและเคมี พบว่า ป่าพรุทุ่งเตียนมีประสิทธิภาพในการกำจัดความเค็มได้ 87.1 เปอร์เซ็นต์ ลดปริมาณสารแขวนลอยได้ 51.1 เปอร์เซ็นต์ บีโอดีได้ 92.5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 55.4 เปอร์เซ็นต์ สามารถกำจัดไนโตรเจนในรูปที่เคเอ็น ไนไตรท์และไนเตรทได้ 92.5, 71.9 และ 55.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพ พื้นที่ชุ่มน้ำ ป่าพรุ การบำบัดน้ำเสีย

* ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)
e-mail: kobsaithan@yahoo.com

Efficiency of Peat Swamp Forest as Natural Wetland for Wastewater Treatment
of Ban Mai Khao Community, Thalang District in Phuket Province

**งานวิจัยเรื่องนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักบริหารโครงการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักคณะกรรมการการอุดมศึกษา

Abstract

The purpose of this study is to determining the efficiency of peat swamp forest, a natural wetland, in treating community released wastewater. It was carried out in the Thongtean peat swamp of Ban Mai Khao community, Thalang district of Phuket province. The water samples were collected by Grab sampling method at 4 different points along the line of draining system from beginning through the swamp forest and ended before releasing to the sea. The comparisons indicated that the peat swamp enabled to remove 87.1% of salinity, 51.1% of suspended solid (SS), 92.5% of BOD, 55.4% of phosphorus (T-PO_4^{3-}), 92.5%, 71.9 and 55.6% of TKN, nitrite (NO_2^-) and nitrate (NO_3^-).

Keywords : Efficiency, Wetland, Peat Swamp Forest, Wastewater Treatment

บทนำ

พรุเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีระบบนิเวศเฉพาะตัวประกอบด้วยที่ลุ่มต้ำน้ำท่วมขังตลอดปีหรือเกือบตลอดปี มีป่าไม้ไม่ผลัดใบขึ้นอยู่บนซากพืชหรือพีท (peat) ที่ทับถมกันหนากว่า 50 เซนติเมตร พีทจะมีการปรับระบบรากให้สามารถเจริญเติบโตบนพีทได้ และต้องปรับตัวให้ทนต่อสภาพน้ำที่เป็นกรด เนื่องจากการสลายอย่างช้าๆ ของอินทรีย์วัตถุภายใต้สภาวะน้ำท่วมขัง น้ำจึงมีสีชา ที่เกิดจากการย่อยสลายของพีทและการละลายของดินตม จึงทำให้พีทพรรณในป่าพรุมีลักษณะแปลกและแตกต่างออกไปจากป่าโดยทั่วไป บางชนิดมีรากยื่นยาวออกมาโค้งและกางลงไปในน้ำ บางชนิดรากแผ่ออกเป็นพุ่ม (Buttress) หรือยื่นจากพื้นคล้ายหัวเข่า มีเกอวัลย์ยึดพันเกี่ยวอยู่กับต้นไม้ใหญ่ พื้นล่างพบเฟินนานาชนิด (Promboon et al., 1999) พรุบ้านไม้ขาว ตั้งอยู่ในหมู่ที่ 3 และ 4 ตำบลไม้ขาว อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต มีเนื้อที่ประมาณ 0.403 ตารางกิโลเมตร (252 ไร่) เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับชาติของประเทศไทย จากการจัดลำดับความสำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำในทะเบียนพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับนานาชาติและระดับชาติของประเทศไทย (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 1999) ป่าพรุเป็นแหล่งอาหาร สมุนไพร แหล่งไม้ใช้สอย และแหล่งประมงพื้นบ้าน เป็นแหล่งน้ำใช้ในการเกษตร เช่น การทำสวน ทำนา ของชุมชนท้องถิ่น นอกจากนี้ยังมีความสำคัญทางนิเวศวิทยา เช่น เป็นกำแพงกันคลื่นจากทะเลอย่างดี โดยเฉพาะในช่วงที่เกิดสึนามิ เมื่อเดือนธันวาคม 2547 ช่วยควบคุมน้ำท่วมและภัยพิบัติ ควบคุมภูมิอากาศ และช่วยให้ดินอุดมสมบูรณ์ เป็นการรักษาสมดุลการหมุนเวียนสารอาหาร แหล่งสะสมคาร์บอน การหมุนเวียนวัฏจักรของน้ำ จึงทำให้เป็นแหล่งที่อยู่ของสัตว์ป่า นกประจำถิ่น นกอพยพ และเป็นแหล่งรวมความหลากหลายทางชีวภาพ ป่าพรุเป็นแหล่งพันธุกรรมของพรรณไม้ที่หายากอีกหลายชนิด และเป็นสังคมพืชที่มีพรรณพฤษชาติที่เป็นเอกลักษณ์ (Unique Flora) แตกต่างไปจากพรรณ

พฤษชาติของสังคมพืชป่าไม้ชนิดอื่นๆ (Nualcharoen 2009) จากการสำรวจพรุบ้านไม้ขาว อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต จำนวน 6 แห่ง พบพรรณพืชไม่น้อยกว่า 65 วงศ์ 99 สกุล 110 ชนิด โดยพืชรูปร่างที่พบพรรณพืชมากที่สุด คือ พรุจิก และพรุจูด พบจำนวน 47 ชนิด รองลงมาคือ พรุทุ่งเตียน 43 ชนิด พรุหลังวัดไม้ขาว พรุแหลมหยุด 30 ชนิด และพรุเงาะสัน 18 ชนิด (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2002)

อย่างไรก็ตามแรงผลักดันในระบบเศรษฐกิจทุนนิยม และความอ่อนแอของระบบการถ่ายทอดองค์ความรู้หรือการสื่อสารภายในชุมชน ทำให้เกิดการทำลายป่าพรุอย่างมากมาเพื่อการสร้างรายได้ของครอบครัว ไม่ว่าจะเป็นการก่อสร้างพัฒนาการจับจองเพื่อทำมาหากิน การทำถนน การทำสวน การตั้งบ้านเรือน การสร้างสนามบิน การสร้างโรงแรม และอื่นๆ เช่น การขุดลอกพรุทำอ่างเก็บน้ำ จนกระทั่งผลจากการทำลายป่าพรุที่เกิดขึ้น ส่งผลกระทบโดยตรงกับคนในชุมชนในเรื่องของแหล่งอาหารและรายได้ต่อครัวเรือน โดยเฉพาะน้ำเสียที่เกิดจากฟาร์มอนุบาลลูกกุ้ง และการบรรจุภัณฑ์กุ้งเพื่อส่งออกต่างประเทศ มีการปล่อยลงสู่พรุโดยไม่ได้รับการบำบัดน้ำเสียอย่างถูกวิธี ด้วยเหตุนี้ ป่าพรุจึงเสื่อมโทรมลงอย่างมาก จนอยู่ในสภาวะวิกฤต จากการสำรวจ มีพรุเหลืออยู่แค่ประมาณ 72 ไร่ (Nualcharoen, 2009) และมีแนวโน้มเสื่อมโทรมมากขึ้นเรื่อย ๆ ระบบนิเวศรอบข้างไม่มีความสมดุล ทุกภาคส่วนจึงต้องให้ความสำคัญและแก้ไขปัญหาอย่างจริงจัง ทั้งใช้มาตรการทางกฎหมายและกระบวนการมีส่วนร่วม รวมทั้งต้องมีการหาแนวทางเพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพที่ใช้วัสดุธรรมชาติที่มีในท้องถิ่น เหมาะสมกับชุมชน โดยใช้องค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้หลักการที่ง่าย สามารถนำไปปฏิบัติได้และมีราคาถูก โดยอาศัยวิธีการธรรมชาติช่วยธรรมชาติมาใช้ในการแก้ไขปัญหา (Chankao & Phewnil, 2012) ตามแนวพระราชดำริ ที่มีการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ คือ ป่าชายเลนบำบัดน้ำเสียจากชุมชน อาศัยหลักการเจือจางระหว่างน้ำทะเลกับน้ำเสีย การผสมน้ำเร่งการตกตะกอน การกักกักน้ำเสียที่ผสมกับน้ำทะเล ระบบรากของพืชป่าชายเลนช่วยในการเติมออกซิเจนให้กับน้ำเสีย กรองหรือฟอกน้ำให้สะอาดขึ้น นอกจากนี้พืชป่าชายเลนจะดูดซับธาตุอาหารและสิ่งปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำเสีย ทั้งยังช่วยการทำงานของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ อาศัยการปลดปล่อยออกซิเจนของพืชที่ได้จากการสังเคราะห์แสง กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในดิน การดูดซึมสารอาหารของพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และการกรองสิ่งปนเปื้อนของพืชป่าชายเลนและดินร่วมกัน (The Environmental Research and Development Project, 2009) และยังมีงานวิจัยในโครงการฯ ที่มีการใช้ป่าชายเลนปลูกในการบำบัดน้ำเสียชุมชน (Boonsong, et al., 2006) พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดี (BOD) และไนโตรเจนทั้งหมด (TN) มีแนวโน้มลดลงเมื่อน้ำเสียมีความเค็มสูงขึ้น แต่ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) มีแนวโน้มตรงกันข้าม นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกหลายเรื่องที่ยืนยันว่า พรุตามธรรมชาติสามารถบำบัดโลหะหนัก (Pakarinen et al., 1981; Glooschenko & Copobianco, 1982) บำบัดน้ำเสีย (Couillard, 1994; Gopal, & Ghosh, 2008) ในประเทศฮังการี มีการใช้พื้นที่พรุ บำบัด

น้ำโสโครก น้ำเสียจากชุมชน พบว่า สามารถบำบัดฟอสฟอรัสได้ 99.2-99.4 เปอร์เซ็นต์ โปแทสเซียม 40.5 เปอร์เซ็นต์ และโลหะหนักจากกากตะกอน (Toth, 1980)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้เลือกพื้นที่ชุ่มน้ำพรุทุ่งเตียน ที่มีสภาพค่อนข้างเสื่อมโทรม ศึกษาประสิทธิภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่ป่าพรุ และคุณภาพน้ำในป่าพรุแต่ละจุด ตั้งแต่ช่วงต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ แล้วนำผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมาเปรียบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพของป่าพรุในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจะเป็นอย่างนี้คือความรู้ที่เป็นประโยชน์ทางด้านจัดการน้ำเสีย เพื่อใช้ในการวางแผนออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ที่เหมาะกับบริบทของชุมชนบ้านไม้ขาว โดยอาศัยศักยภาพของตนเองและทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่

วัตถุประสงค์

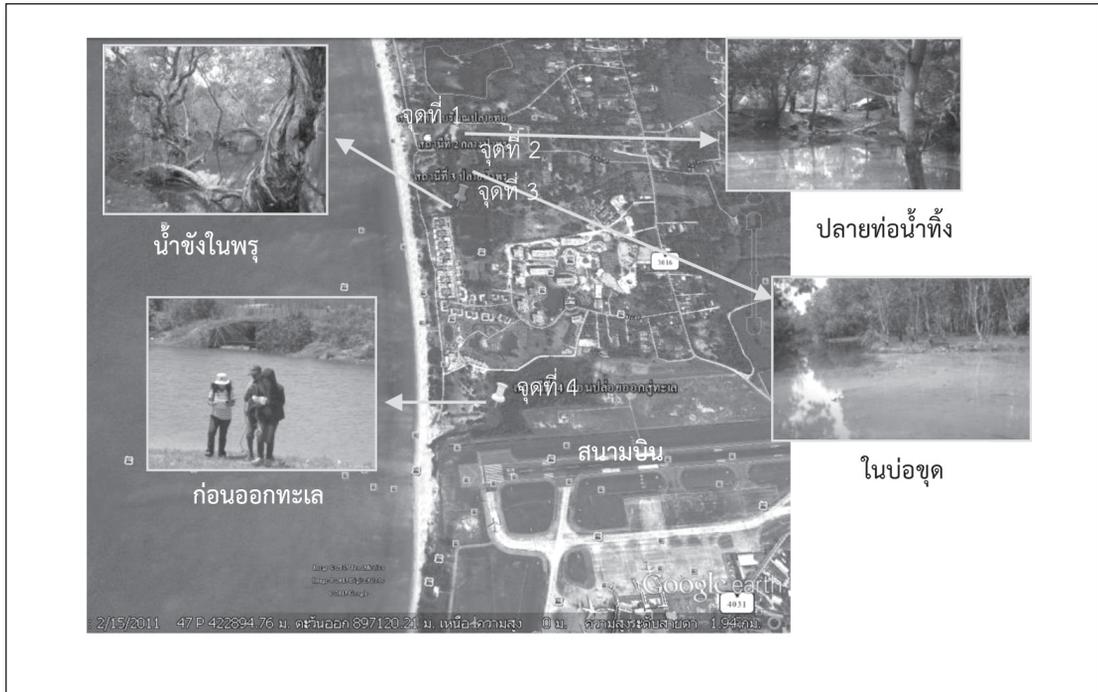
1. เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่พรุทุ่งเตียน และน้ำในป่าพรุ
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของป่าพรุในการบำบัดน้ำเสีย

วิธีการทดลอง

1. การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่พรุทุ่งเตียน ตั้งแต่ต้นทางจากบริเวณปลายท่อน้ำทิ้งที่ปล่อยน้ำเสียลงสู่พรุทุ่งเตียน ผ่านพรุ จนถึงปลายทางก่อนน้ำจะไหลลงสู่ทะเล (ภาพที่ 1) รวมระยะทางประมาณ 1 กิโลเมตร กำหนดจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 จุด ทำการเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง โดยใช้วิธีเก็บตัวอย่างแบบจ้วง (Grab Sampling) ในช่วงเดือนมีนาคม – พฤษภาคม 2555

จากการสำรวจสภาพของพรุทุ่งเตียน บริเวณใกล้เคียงมีสถานประกอบการฟาร์มอนุบาลลูกกุ้งและสถานประกอบการบรรจุภัณฑ์กุ้งเพื่อส่งออกตลาดต่างประเทศ รวมทั้งชุมชน มีการปล่อยน้ำเสียโดยไม่ผ่านการบำบัดลงสู่พรุทุ่งเตียน ซึ่งมีการขุดลอกเป็นสระน้ำ ความจุ 34,275 ลูกบาศก์เมตร พรุมีสภาพเสื่อมโทรม มีพรรณไม้พรุหลงเหลืออยู่ค่อนข้างน้อย มีพุ่มไม้และทุ่งหญ้า สภาพค่อนข้างแห้งมีเนื้อที่ประมาณ 0.0072 ตารางกิโลเมตร (4.5 ไร่) (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2002) ด้านหน้าของพรุติดชายทะเล ใกล้สนามบินนานาชาติภูเก็ต มีสวนมะพร้าวและสันทราย



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำ

ที่มา : แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม ดัดแปลงจาก Google Earth (มีนาคม, 2555)

2. การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำภาคสนามและตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเคมี โดยมีรายละเอียด ดังนี้ การตรวจวัดภาคสนามโดยใช้เครื่อง Multi Probe System รุ่น YSI 556 MPS พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด คือ อุณหภูมิ (Temperature) ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solid, TDS) ค่าความเค็ม (Salinity) ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

การตรวจวัดในห้องปฏิบัติการเคมี กำหนดพารามิเตอร์ตรวจวัดตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 7 เมษายน 2553 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 127 ตอนพิเศษ 69 ง วันที่ 2 มิถุนายน 2553 ดังแสดงในตารางที่ 1 และวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน (AWWA WEF & APHA, 1995)

ตารางที่ 1 เครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ตามพารามิเตอร์ที่กำหนด

พารามิเตอร์	หน่วย	เครื่องมือ/วิธีการวิเคราะห์
1) ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	pH Meter
2) บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	mg/L	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน
3) ของแข็งแขวนลอย (SS)	mg/L	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4) น้ำมันและ ไขมัน (Fat, Oil and Grease)	mg/L	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมัน และไขมัน
5) ไนโตรเจนรวม (Total Nitrogen)	mg-N/L	ผลรวมของไนโตรเจนในรูปที่เคเอ็น ที่ตรวจวัดด้วยวิธีเจดาห์ล (Kjeldahl) ไนไตรท์ ด้วยวิธีวัดสี (Colorimetric Method) และไนเตรทที่ตรวจวัดด้วยวิธีบลูซีน (Brucine Method)
6) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)	mg/L	ใช้วิธีแอสคอร์บิก แอซิด (Ascorbic Acid)

3. ศึกษาประสิทธิภาพของป่าพรุในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

หาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำป่าพรุทุ่งเตียน โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีในแต่ละจุดที่เก็บน้ำตัวอย่างของป่าพรุทุ่งเตียน ในพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ ค่าความเค็ม ค่าปริมาณสารแขวนลอย ค่าความสกปรกในรูปบีโอดี ปริมาณฟอสฟอรัส และปริมาณไนโตรเจนในรูปที่เคเอ็น ไนไตรท์และไนเตรท เพื่อดูประสิทธิภาพการกำจัดสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้ของป่าพรุที่อยู่ในสภาพธรรมชาติ โดยนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาคำนวณตามสมการ (1)

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัด (\%)} = \frac{\text{ค่าที่จุดปลายท่อน้ำทิ้ง} - \text{ค่าจุดสุดท้ายก่อนออกทะเล}}{\text{ค่าที่จุดปลายท่อน้ำทิ้ง}} \times 100 \dots (1)$$

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่พรุทุ่งเตียน และน้ำในพรุ

จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพเบื้องต้นของน้ำเสียบริเวณพรุทุ่งเตียนในแต่ละจุดโดยใช้ประสาทสัมผัส พบว่า จุดที่ 1 น้ำเสียที่ปล่อยลงสู่ป่าพรุ ลักษณะเป็นตะกอน มีกลิ่นเหม็น จุดที่ 2 น้ำในบ่อขุดห่างจากปลายท่อ 200 เมตร น้ำมีสีชา มองเห็นสีเขียวของสาหร่ายขนาดเล็ก จุดที่ 3 น้ำในพรุทุ่งเตียน น้ำมีสีชา มีคราบฟิล์มบางๆ ลอยบนผิวน้ำ จุดที่ 4 น้ำที่ผ่านพรุก่อนไหลออกสู่ทะเล มีลักษณะขุ่น และน้ำมีสีเหลืองฟาง

ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี ทำการตรวจวัดน้ำตัวอย่างในแต่ละจุดในภาคสนามโดยใช้เครื่อง Multi Probe System รุ่น YSI 556 MPS และนำน้ำตัวอย่างมาตรวจวัดในห้องปฏิบัติการเคมี ผลดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำพรุทุ่งเตียนแต่ละจุดในภาคสนาม

พารามิเตอร์ (หน่วย)	จุดเก็บน้ำตัวอย่าง			
	ปลายท่อน้ำทิ้ง	ในบ่อขุด	น้ำขังในพรุ	ก่อนออกทะเล
1. Temperature (°C)	25.49±0.63	27.64±1.70	30.34±0.75	30.17±1.04
2. pH	6.75±0.66	7.04±0.39	7.12±0.10	7.22±0.23
3. Conductivity (ms/cm)	57.08±1.95	26.93±2.42	24.40±5.74	8.00±1.44
4. Salinity (ppt)	31±1	13±1	10±1	4±1
5. TDS (mg/L)	37,850±1,003	16,307±1,615	14,787±3457	4,715±947
6. DO (mg/L)	4.27±0.26	1.34±0.25	5.40±0.10	6.79±0.14

ตารางที่ 3 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำพรุทุ่งเตียนแต่ละจุดในห้วงปฏิบัติการเคมี

พารามิเตอร์ (หน่วย)	จุดเก็บน้ำตัวอย่าง			
	ปลายท่อน้ำทิ้ง	ในบ่อขุด	น้ำขังในพรุ	ก่อนออกทะเล
1. pH	7.70±0.36	7.92±0.61	7.80±0.58	7.18±0.14
2. SS (mg/L)	45±13	14±4	87±77	22±20
3. Oil and Grease (mg/L)	22.7±4.7	23.62±9.23	172.3±229.4	64.7±73.1
4. BOD (mg/L)	6.63±1.50	8.67±2.21	7.63±3.00	0.50±0.35
5. T-PO ₄ ³⁻	0.2525±0.0469	0.1613±0.1117	0.0139±0.1141	0.1125±0.0502
6. TN*	0.933±0.082	0.284±0.278	0.277±0.220	0.358±0.343
6.1 TKN	0.040±0.028	0.006±0.003	0.016±0.012	0.003±0.014
6.2 NO ₂ ⁻	0.748±0.162	0.206±0.229	0.197±0.175	0.210±0.180
6.3. NO ₃ ⁻	0.146±0.055	0.072±0.061	0.065±0.050	0.065±0.037

*ผลรวมของไนโตรเจนทั้งหมด (TKN+ NO₂⁻+NO₃⁻)

จากตารางที่ 2-3 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำในแต่ละจุด พบว่า อุณหภูมิของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 25.49-30.34 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าอยู่ในช่วง 6.75-7.92 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำตัวอย่างที่เก็บจากปลายท่อน้ำทิ้งมีค่าสูงสุด แสดงว่า มีปริมาณไอออนที่ละลายน้ำอยู่มากซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนเมื่ออยู่ในน้ำ ในจุดที่ 2, 3 และ 4 ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดลงตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้า น่าจะสัมพันธ์กับปริมาณของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ละลายในน้ำ ถ้ามีค่าการนำไฟฟ้าสูง แสดงว่ามีค่าความเค็มสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ที่พบว่า จุดที่ 1 มีค่าความเค็มสูงมาก เทียบเท่ากับค่าความเค็มของน้ำทะเล (31 ppt) อาจเนื่องมาจากน้ำเสียที่ถูกปล่อยมาจากสถานประกอบการฟาร์มอนุบาลลูกกุ้งและบรรจุภัณฑ์กุ้งเพื่อส่งออกซึ่งอยู่ใกล้กับบริเวณจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 จากนั้นค่าความเค็มจะค่อยๆ ลดลงตามระยะทางที่ห่างจากจุดที่ 1 เนื่องจากการเจือจางจากน้ำที่ขังอยู่ในพรุหรืออาจเกิดจากการบำบัดโดยธรรมชาติของพืชและดินที่อยู่ในพรุ (Couillard, 1994) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolve Solid, TDS) ที่จุดที่ 1 มีค่าสูงมากถึง 37,850 mg/L เนื่องจากน้ำทิ้งเหล่านี้ น่าจะเป็นน้ำทะเลที่มีโซเดียมคลอไรด์เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนปริมาณสารแขวนลอย (Suspended Solids, SS) ของน้ำทิ้งที่ปลายท่อน้ำทิ้งมีค่า 45 mg/L มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่กำหนดให้ไม่เกิน 30 mg/L สำหรับ

จุดที่ 2 ปริมาณสารแขวนลอยลดลงเหลือ 14 mg/L น่าจะเกิดมาจากการตกจมลง (Sedimentation) ของตะกอนตามแรงโน้มถ่วงของโลกลงสู่ก้นบ่อ แต่ในจุดที่ 3 เป็นน้ำที่ขังอยู่ในพรุ มีปริมาณสารแขวนลอยเพิ่มสูงขึ้นมากเป็น 87 mg/L เพราะน้ำในพรุมีปริมาณน้อย มีตะกอนดินโคลนที่ทับถมอยู่มาก จุดที่ 4 น้ำที่ผ่านพรุก่อนที่จะไหลออกสู่ทะเล มีปริมาณสารแขวนลอยลดลง เพราะมีรากต้นไม้ที่อยู่ในพรุซึ่งมีลักษณะพิเศษ เช่น รากแก้วค่อนข้างสั้น รากแขนงแผ่กว้าง มีรากค้ำยัน โคนต้นไม้พุ่มพอน และมีรากหายใจ ซึ่งช่วยดักตะกอนของสารแขวนลอยเหล่านี้ได้

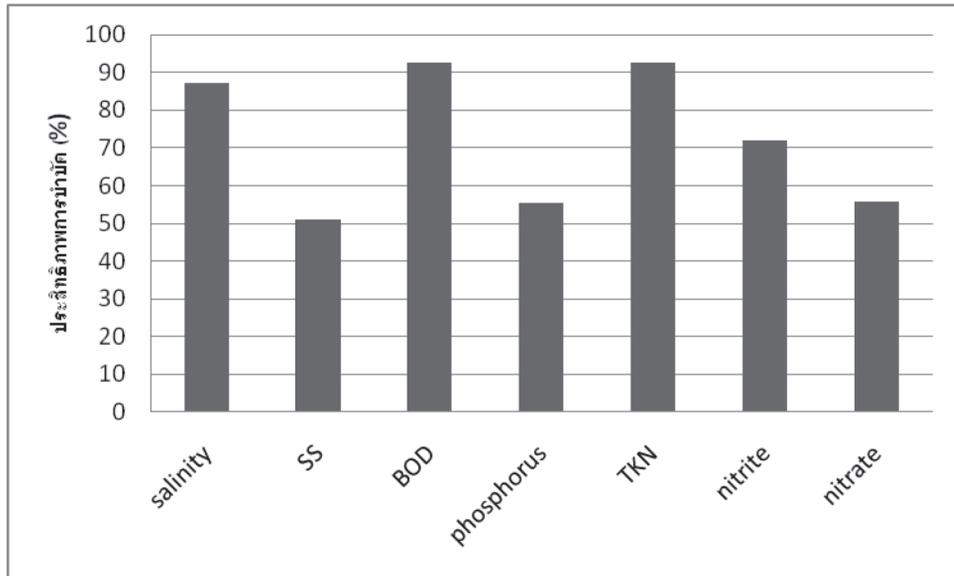
การวิเคราะห์น้ำมันและไขมัน เป็นการหาปริมาณของสารกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่สามารถสกัดได้ด้วยตัวทำละลาย จากตารางที่ 3 จะเห็นว่า น้ำทิ้งที่ปลายท่อมีค่าน้ำมันและไขมัน 22.7 mg/L มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมซึ่งกำหนดให้ไม่เกิน 5 mg/L เพราะถ้ามีมากจะก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบบำบัดน้ำเสีย ทำให้ท่อระบายน้ำอุดตัน และมีผลต่อระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียในน้ำ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดแผ่นไขมันบางๆ บนผิวน้ำมีผลต่อขบวนการย่อยสลายทางธรรมชาติในน้ำ (Chankao & Phewnil, 2012) ส่วนจุดอื่นๆ มีค่าน้ำมันและไขมันเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในจุดที่ 3 เป็นน้ำที่ขังอยู่ในพรุ มีค่ามากถึง 172.3 mg/L ซึ่งโดยปกติมักไม่พบน้ำมันและไขมันในแหล่งน้ำธรรมชาติ แสดงว่าต้องมีแหล่งกำเนิดมลพิษที่มีการปล่อยน้ำเสียลงสู่พรุ ซึ่งอาจจะเป็นน้ำเสียจากโรงแรมหรือบ้านเรือน เพราะบริเวณนี้อยู่ใกล้โรงแรมและชุมชน ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) เป็นค่าที่บอกว่าในน้ำมีปริมาณออกซิเจนอยู่มากน้อยเพียงใด ซึ่งจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตรวมทั้งจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ โดยปกติจะแปรผกผันกับค่า BOD ค่าความสกปรกของน้ำในรูปสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand, BOD) มีค่าไม่สูงมากนัก น้ำที่เก็บจากปลายท่อน้ำทิ้งมีค่า 6.63 mg/L ในจุดที่ 2 และ 3 จะมีค่า BOD เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 8.67 และ 7.63 mg/L ในจุดที่ 4 ก่อนไหลลงสู่ทะเล จะเห็นว่าค่า BOD ลดลงมาก เหลือแค่ 0.50 mg/L แสดงว่ามีการบำบัดโดยอาศัยกระบวนการทางธรรมชาติโดยอาศัยจุลินทรีย์ในการกำจัดสารอินทรีย์เหล่านั้น (Sohsalam, Englande & Sirianuntapiboon, 2008)

ส่วนฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สำคัญในการส่งผ่านพลังงานของจุลินทรีย์และเป็นองค์ประกอบของเซลล์ เช่น ฟอสโฟไลปิด นิวคลีโอไทด์ และกรดนิวคลีอิก การที่แหล่งน้ำมีสารอาหารมากเกินไป จะไปกระตุ้นให้มีการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืช (สาหร่ายขนาดเล็ก) อย่างรวดเร็ว จนทำให้น้ำเปลี่ยนสีไปจากสีปกติ อาจเป็นสีเขียว สีน้ำตาล หรือสีแดง ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) จะเกิดขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำเกิน 0.01 mg/L และ ไนเตรทเกิน 0.3 mg/L ปัจจัยที่มีส่วนร่วมคือ แสงแดด อุณหภูมิ ความเค็ม ความเสถียรของน้ำ และพฤติกรรมของแพลงก์ตอนพืช เป็นต้น (Chankhum, n.d.) จะทำให้สาหร่ายเซลล์เดียวเติบโตขยายจำนวนมาก ที่เรียกว่า สาหร่ายสะพรั่ง (Algae Bloom) ซึ่งพบว่า น้ำตัวอย่างที่ปลายท่อน้ำทิ้ง มีค่าฟอสฟอรัส 0.2525 mg/L และในจุดที่ 2 มีค่าฟอสฟอรัส 0.1613 mg/L มีปัจจัยในเรื่องแสงแดดอุณหภูมิ และความเค็ม จึงทำให้มีสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กจำนวนมากในบริเวณนี้ ซึ่งเกิดจากปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) จากการวิเคราะห์ค่าไนโตรเจน ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่สำคัญของพืชอีกตัวหนึ่ง พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้โดยตรงเฉพาะไนโตรเจนที่อยู่ในรูป

แอมโมเนียม (NH_4^+) หรือไนเตรท (NO_3^-) เท่านั้น ไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำจะอยู่ในรูปของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท โดยไนโตรเจนทั้งหมดจะประกอบด้วยสารไนโตรเจนที่มีอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก ซึ่งสารดังกล่าวนี้เป็นส่วนประกอบของพืชและสัตว์ ในอุจจาระและในปุ๋ยที่ได้จากมูลสัตว์ เป็นต้น สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น NH_3 , NO_3^- และ NO_2^- สารพวกนี้จะอยู่ในรูปปุ๋ยที่อยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนียม ปัสสาวะ ค่า Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) เป็นการวิเคราะห์ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง จะพบไนโตรเจนในรูปที่เคเอ็น ไนไตรท์ และไนเตรท มากที่สุดบริเวณปลายท่อน้ำทิ้งในจุดที่ 1 แสดงว่า น้ำนั้นมีการปนเปื้อนของเสียจากชุมชน ที่มาจากบ้านเรือน โรงแรม และสถานประกอบการฟาร์ม อนุบาลลูกกึ่ง อาจมี ชี๊กิ้ง เศษอาหารเหลือ เนื่องจากการให้อาหารมากเกินไป ซากแพลงก์ตอนเหล่านี้เป็นแหล่งของสารประกอบไนโตรเจน ที่ทำให้เกิดไนไตรท์ขึ้นภายในบ่อเลี้ยงกึ่ง ส่วนน้ำในจุดที่ 2, 3 และ 4 มีปริมาณที่เคเอ็น ไนไตรท์ และไนเตรทลดลง ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน (Nitrification-denitrification) ในการกำจัดไนโตรเจนโดยผ่านระบบการแทรกซึมบนพื้นผิวของดิน (Subsurface Wastewater Infiltration System, SWIS) (Zhang et al., 2005; Chen et al., 2014) ได้เพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน ด้วยระบบ SWIS โดยการเติมพีท (Peat) ลงไปในชั้นดิน พบว่า พีทซึ่งเป็นแหล่งของคาร์บอน จะทำให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ทำให้ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และไนเตรท (NO_3^- -N) ลดลง ดังนั้นในป่าพรุ ซึ่งมีชั้นของพีททับถมกันหนากว่า 50 เซนติเมตร น่าจะเป็นแหล่งสะสมของคาร์บอน ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

2. ผลการศึกษาประสิทธิภาพของป่าพรุในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำป่าพรุทุ่งเตียน โดยเปรียบเทียบจากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในจุดแรกบริเวณปลายท่อน้ำทิ้งกับจุดสุดท้ายก่อนออกสู่ทะเล และนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการบำบัดตามสมการ (1) ในพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ ค่าความเค็ม ค่าปริมาณสารแขวนลอย ค่าความสกปรกในรูปบีโอดี ปริมาณฟอสฟอรัส และปริมาณไนโตรเจนในรูปที่เคเอ็น ไนไตรท์ และไนเตรท แสดงด้วยกราฟแท่ง ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพของป่าพรุในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสีย

จากภาพที่ 2 จะเห็นว่า พื้นที่ชุ่มน้ำป่าพรุที่อยู่ในธรรมชาติมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าความเค็มออกจากน้ำเสียจุดที่ 1 ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ออกมาจากปลายท่อน้ำทิ้ง เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่ 4 ซึ่งเป็นน้ำที่ผ่านป่าพรุก่อนจะไหลออกสู่ทะเลไปได้ 87.1 เปอร์เซ็นต์ ลดปริมาณสารแขวนลอยลงไป 51.1 เปอร์เซ็นต์ และค่าความสกปรกในรูปบีโอดีลดลง 92.5 เปอร์เซ็นต์ ป่าพรุสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ถึง 55.4 เปอร์เซ็นต์ สามารถกำจัดไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ไนไตรท์และไนเตรทได้ 92.5, 71.9 และ 55.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ป่าพรุเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) ตามธรรมชาติ และใช้กระบวนการทางธรรมชาติ เช่น กระบวนการ Themo Osmosis และกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ซึ่งอาศัยหลักการธรรมชาติช่วยธรรมชาติเช่นเดียวกับในระบบบึงประดิษฐ์ (Chankum, n.d.) ในการบำบัดและฟื้นฟูน้ำเสียให้ใช้ประโยชน์ได้ โดยใช้พืช ดิน หิน เป็นพื้นที่ในการยึดเกาะของจุลินทรีย์เพื่อช่วยในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ (Lecturers of Environmental Science, 2006; Couillard, 1994; Gopal & Ghosh, 2008) แต่เนื่องจากป่าพรุซึ่งเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติมีระบบนิเวศที่มีความสลับซับซ้อน มีความหลากหลายทางชีวภาพ จึงมีปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน เช่น ชนิดของพืช ดิน น้ำ อากาศ เป็นต้น ดังนั้นการอธิบายผลที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องอาจอยู่ภายใต้ข้อจำกัดดังกล่าว ผลการศึกษาทั้งหมดชี้ให้เห็นว่าระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าพรุมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียชุมชน และสามารถรองรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นและความเค็มสูงได้ดี อย่างไรก็ตาม ป่าพรุคงไม่สามารถรองรับน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด ซึ่งมีสารมลพิษปนเปื้อนในปริมาณมาก

เช่นนี้ได้ตลอด ดังนั้นจะต้องมีแผนการจัดการที่เหมาะสมเพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อระบบนิเวศป่าพรุซึ่งย่อมส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดด้วยเช่นกัน

สรุปผลการทดลอง

1. น้ำเสียที่ปล่อยลงสู่พรุทุ่งเตียนมีสารเคมีที่ปนเปื้อนในปริมาณสูง มีค่าความเค็มสูงถึง 31 ppt ปริมาณสารแขวนลอย น้ำมันและไขมันเกินเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้ทั้งหมดสูงถึง 37,850 mg/L ค่าบีโอดี (BOD) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) และไนโตรเจนทั้งหมด (TN) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน
2. ป่าพรุซึ่งเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยสามารถกำจัดความเค็มได้ 87.1 เปอร์เซ็นต์ ลดปริมาณสารแขวนลอยได้ 51.1 เปอร์เซ็นต์ ลดบีโอดีได้ 92.5 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัส 55.4 เปอร์เซ็นต์ สามารถกำจัดไนโตรเจนในรูปที่เคเอ็น ไนไตรท์และไนเตรทได้ 92.5, 71.9 และ 55.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาขีดความสามารถ (Carrying Capacity) ของป่าพรุในการรองรับน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับชุมชนโดยวิธีการธรรมชาติช่วยธรรมชาติ โดยไม่ทำลายระบบนิเวศของป่าพรุ
2. ควรทำการประเมินคุณภาพน้ำในพรุที่ได้รับผลกระทบจากการปล่อยน้ำเสียชุมชนโดยไม่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีการทางเคมีควบคู่กับวิธีการทางชีวภาพ เช่น การหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลความหลากหลายของแมลงน้ำกับข้อมูลปัจจัยคุณภาพน้ำ (Yuphrom et al., 2012; Hminwang et al., 2012)
3. ควรสำรวจพืชที่อยู่ในป่าพรุบ้านไม้ขาว ที่น่าจะมีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสีย เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของพืชในการบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งศึกษาการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้บำบัดน้ำเสีย โดยเปรียบเทียบระยะเวลาปลูกและความเข้มข้นของน้ำเสียที่แตกต่างกัน (Phoschanajan, 2008) เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบระบบบึงประดิษฐ์เพื่อบำบัดน้ำเสียของชุมชนบ้านไม้ขาว

References

- AWWA WEF & APHA. (1995). *Standard method for the examination of water and wastewater*. 20th ed. Washington D.C : American Public Health Association.
- Boonsong, K. et al. (2006). *An application of mangrove plantation in domestic wastewater treatment*. Faculty of science, Chulalongkhon University. (in Thai)
- Chankao, K., Pattamaphitoon, T. & Phewnin, O. (2012). *The wastewater treatment nature-by-nature processing by constructed wetland at Laem Phak Bin, Petchaburi Province*. Bangkok: Department of Environmental Collage, Kasetsart University. (in Thai)
- Chankhum, O. (n.d.). *Environment chemistry*. Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. Retrieved June 14, 2011, from <http://courseware.rmutl.ac.th/courses/58/unit1301.htm>. (in Thai)
- Chankao, K., & Phewnil, O. (2012). *Training document of wetland Management course*. Department of Environmental Quality Promotion, Ministry of Natural Resources and Environment, Trained March 5-9, 2012. At Institute of Training and Technology Transfer in Environment, Pathum Thani Province and The King's Royally Initiated Laem Phak Bin Environmental Research and Development Project, Petchaburi Province. (in Thai)
- Chen, P. Z., Cui, J. Y., HU, L., Zheng, M. Z., Cheng ,S. P., Huang, J., & Mu, K. G. (2014). Nitrogen removal improvement by adding peat in deep soil of subsurface wastewater infiltration system. *Journal of Integrative Agriculture*, 13 (5), 1113-1120.
- Couillard, D. (1994). The use of peat in wastewater treatment. *Water Research*, 28 (6), 1261-1274.
- Glooschenko, W. A., & Copobianco, J. A. (1982). Trace element content of northern Ontario peat. *Environmental Science and Technology*, 16 (3), 187-188.
- Gopal, B., & Ghosh, D. (2008). Natural wetland. *Earth Systems and Environmental Sciences. Encyclopedia of Ecology*, 2493-2504, Current as of 19 June 2012.

- Hminwang, N., Phayakkha, A., & Prommi, T. (2012). An application of aquatic insects as biotransformers of water quality in Mae Tal creek, Mae Sot District, Tak Province. *SDU Research Journal of Science and Technology*, 5 (2), 113-123. (in Thai)
- Lecturers of Environment Science and The King's Royally Initiated Laem Phak Bin Environmental Research and Development Project. (2006). *Science nature-by-nature the based on garbage and domestic wastewater management*. Bangkok: Department of Environmental Collage, Kasetsart University. (in Thai)
- Nualcharoen, M. (2009). *Encyclopedia of Biodiversity in Mai Khao Sub-District, Thalang District, Phuket Province*. Bangkok: Ministry of Natural Resources and Environment. (in Thai)
- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. (1999). *Registration Wetlands of international and national Importance*. Bangkok: Ministry of Science and Technology. (in Thai)
- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. (2002). *Biodiversity of wetland in Mai Khao peat swamp*. Bangkok: Ministry of Science and Technology. (in Thai)
- Pakarinen, P., Tolonen, K., & Soveri, J. (1981). Distribution of trace metals and sulfur in the surface peat of Finnish raised bogs. *In Proceedings of the Sixth International Peat Congress, Duluth, Minnesota. Fisher, Eveleth, Minn*, pp. 645-648.
- Phoschanajan, P. (2008). A study of the use of Cattail (*Typha angustifolia* Linn.) for treatment of domestic wastewater in Nonthaburi Province. *SDU Research Journal of Science and Technology*, 1(1), 31-44. (in Thai)
- Promboon, S. et al. (1999). *Biodiversity*. Research project to develop a book and website, Social Development series under the Royal Initiation. Srinakharinwirot University. (in Thai)
- Sohsalam, P., Englande, A. J., & Sirianuntapiboon, S. (2008). Seafood wastewater treatment in constructed wetland: Tropical case. *Bioresource Technology*, 99,1218-1224.

- The Environmental Research and Development Project. (2009). *The wastewater treatment by plant mangrove conversion system*. Department of Environmental Collage, Kasetsart University. Retrieved May 15, 2014, from [http://haii.or.th/wiki84/index.php/the wastewater treatment by plant mangrove conversion system](http://haii.or.th/wiki84/index.php/the_wastewater_treatment_by_plant_mangrove_conversion_system). (in Thai)
- Toth, A. (1980). Utilization of peatland for purification and emplacement of communal sewage mud. In *Proceedings of Sixth International Peat Congress, Dunluth, Minnesota, USA*. Fisher, Eveleth, Minn, pp. 711-712.
- Yuphrom, P., Phanichaphat, T., & Prommi, T. (2012). Water quality assessment in wetlands at Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus Using aquatic insects. *SDU Research Journal of Science and Technology*, 5 (1), 23-34. (in Thai)
- Zhang, J., Huang, X., Liu, C. X., Shi, H. C., & Hu, H. Y. (2005). Nitrogen removal enhanced by intermittent operation in a subsurface wastewater infiltration system. *Ecological Engineering*, 25, 419-428.

ผู้เขียน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สายธาร ทองพร้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

email: kobsaithan@yahoo.com

