การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากที่พักอาศัยโดยระบบสระพักน้ำผันสภาพร่วมกับการใช้ผักตบชวา

Quality Improvement of Domestic Wastewater by Series Oxidation Ponds Combined with *Water Hyacinth*

วรางคณา สังสิทธิสวัสดิ์ (Warangkana Sungsitthisawad)*
ถิรพงษ์ ถิรมนัส (Thirapong Thiramanus)**
ธวัชชัย เนียรวิฑูรย์ (Thawatchai Nienvitoon)*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากที่พักอาศัย โดยระบบสระพักน้ำผันสภาพร่วมกับการใช้ผักตบชวา สถานที่ทดลองใช้สระพักน้ำผันสภาพมอดินแดง มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งรับน้ำเสียจากหอพักนักศึกษาหญิง บ้านพักอาจารย์ข้าราชการ และโรงอาหารกลาง ระบบบำบัดเป็นแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนต่อเนื่องกัน 4 สระ มีเนื้อที่รวม 5,128 ตารางเมตร ความจุ 8,662 ลูกบาศก์เมตร ใส่ผักตบชวาในสระที่ 4 เป็นพื้นที่ 60 ตารางเมตร (ร้อยละ 30 ของพื้นที่ผิวสระน้ำ) หลังจากปล่อยให้ระบบทำงานเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จึงเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ณ ตำแหน่งน้ำเข้าในแต่ละสระ และตำแหน่งน้ำออกจากสระที่ 4 อีก 1 จุด การเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วง (Grab Sampling) จุดละ 2 ตัวอย่าง เป็นจำนวน 6 ครั้ง ห่างกันครั้งละ 2 สัปดาห์ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคม 2537 แล้วนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ตรวจตัวอย่างละ 3 ซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ยทั้ง 5 จุด มีการดูแลผักตบชวาตลอดเวลาและเก็บต้นแก่ทิ้งให้มีปริมาณคงที่ ผลการศึกษาพบว่าอัตราน้ำเสียไหลเข้าสระพักน้ำผันสภาพมอดินแดงวันละ 547.2 ลูกบาศก์เมตร มีค่าบีโอดี 133.3 มิลลิกรัมต่อลิตร นั่นคือมีความสกปรกในรูปบีโอดีเข้าสู่ระบบวันละ 73 กิโลกรัม ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของสระเมื่อปราศจากผักตบชวาร้อยละ 39.5 เมื่อร่วมกับผักตบชวาสามารถบำบัดน้ำเสียได้ร้อยละ 64 บีโอดีของน้ำทิ้งวัดได้ 48 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการศึกษาสรุปได้ว่าผักตบชวาเมื่อร่วมกับระบบสระพักน้ำผันสภาพหลายขั้นตอน มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ โดยเฉพาะกับระบบสระพักน้ำผันสภาพที่มีพื้นที่ไม่ใหญ่เกินไปสามารถดูแลรักษาสภาพของสระและควบคุมปริมาณของผักตบชวาได้อย่างทั่วถึงจะให้ผลดี

Abstract

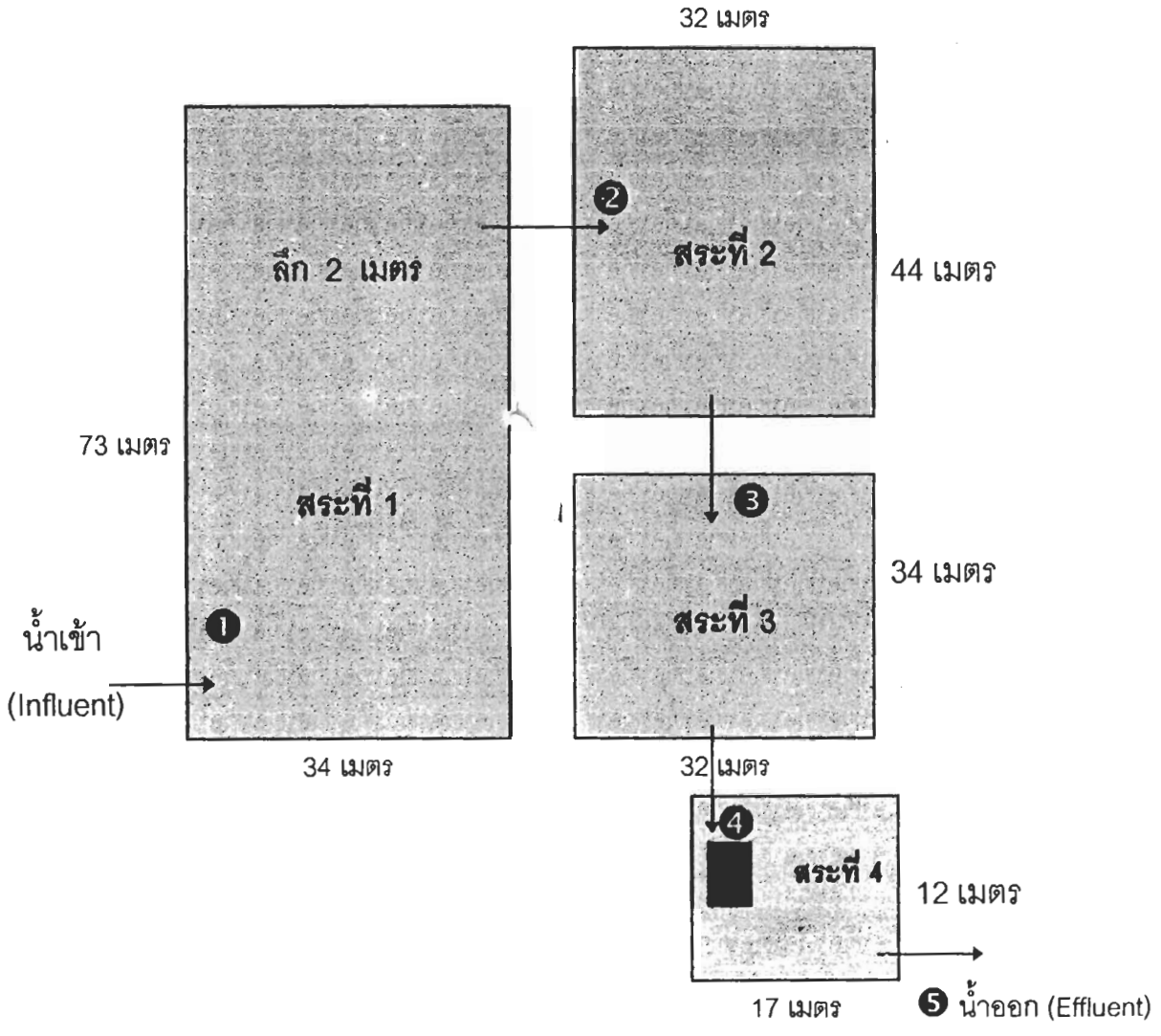
This action research is to determine the quality of effluent of the oxidation pond associated with *Water Hyacinth*. It was conducted at Modindang Oxidation Pond, Khon Kaen University which received wastewater from dormitories residential areas and central cafeteria. This oxidation pond composted of 4 series aerobic and anaerobic ponds and having areas of 5,128 square metres and volume of 8,662 cubic metres. *Water Hyacinth* was brought into the fourth aerobic pond about 60 square metres or 30 percent of surface area of the pond. After it's settlement for 2 weeks, water samples were collected (grab sampling) from 5 points from each pond and effluent. Water samples were collected 6 times twice a month from February to May 1994. All water samples were analysed at laboratory of Sanitary Science Department, Faculty of Public Health, Khon Kaen University. This study found that the wastewater flow rate was about 547.2 cubic metres per day. It contained 133.3 mg/l of BOD. There was 73 kilogram BOD per day. By theory the efficiency of Modindang Oxidation Pond can remove BOD about 39.5 percent without *Water Hyacinth* but after treated with *Water Hyacinth* it can remove BOD about 64 percent. The final effluent was about 48 mg/l. So the conclusion is that *Water Hyacinth* is good enough to be used in wastewater treatment associated with any kinds of oxidation ponds, particular with small wastewater treatment plants.

คำสำคัญ : การปรับปรุงคุณภาพ น้ำเสีย สระพักน้ำผันสภาพ ผักตบชวา
Keywords : Quality improvement ; Wastewater ; Series oxidation ponds ; *Water hyacinth*

* *คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
** *คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*

บทนำ

น้ำเสียชุมชนถ้าไม่มีการกำจัดให้ถูกวิธีจะก่อให้เกิดปัญหากับสิ่งแวดล้อมได้ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้จัดระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนบางส่วนนำไปบำบัดที่สระพักน้ำผันสภาพมอดินแดง ซึ่งเป็นการบำบัดแบบชีวเคมีโดยมีสระพักน้ำผันสภาพจำนวน 4 สระที่นำมาเรียงต่อกันเป็นอนุกรมในเนื้อที่ประมาณ 4 ไร่ สระนี้รับน้ำเสียจากการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ภายในบ้านพักอาจารย์ข้าราชการ หอพักนักศึกษาหญิง และร้านจำหน่ายอาหารบริเวณโรงอาหารกลางของ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สระตั้งอยู่ทางทิศเหนือของมหาวิทยาลัย สร้างขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2516 แต่ละสระเชื่อมต่อกันและมีทางน้ำล้นออกด้านข้างทุกสระ ทำให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้แม้เพียงสระเดียวหรือใช้ร่วมกันได้ ความลึกของสระประมาณ 1.5-2.5 เมตร แต่ละสระมีรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 แผนผังสระพักน้ำผันสภาพมอดินแดง

สระที่ 1 เป็นสระแบบ Facultative Ponds

สระแรกเป็นสระแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ มีน้ำเสียไหลเข้าสู่ระบบในอัตรา 547.2 ลูกบาศก์เมตร/วัน มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง มีสารแขวนลอยประเภท Colloids และกากตะกอนของ Sludge ที่ก้นสระจากการย่อยสลายของ Anaerobic Bacteria ส่วนด้านบนของสระที่สัมผัสกับแสงแดดและกระแสลมทำให้ได้รับก๊าซออกซิเจนจึงเกิดการย่อยโดย Aerobic Bacteria ส่วนล่างของสระจะเป็นการย่อยสลายด้วย Facultative Bacteria สระมีความลึกประมาณ 1.50-2.50 เมตร

สระที่ 2 และสระที่ 3 เป็นสระเขียว aerobic Ponds

สระลึกประมาณ 1.40 เมตร เป็นสระที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่ำกว่าสระแรก บริเวณส่วนบนของสระจะมีสาหร่าย ซึ่งเป็นพวกแพลงค์ตอนเจริญเติบโตอยู่ ซึ่งมีการสังเคราะห์แสงและทำให้เกิดออกซิเจนในชั้นบน (Epilimnion Zone) ในกระบวนการสังเคราะห์แสงนี้ได้คาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นล่าง (Hypolimnion Zone) ในขณะเดียวกันการใช้ออกซิเจนของพวก Aerobic Bacteria ในชั้นล่างทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำชั้นบน และชั้นล่างสุดนี้จะเกิดการสะสมของตะกอนจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดย Anaerobic Bacteria สระนี้จึงเห็นน้ำส่วนบนเป็นสีเขียวของสาหร่าย และในสระที่ 3 มีเครื่องเติมอากาศ ชนิดกังหันของมูลนิธิชัยพัฒนา

สระที่ 4 สระเขียวสมบูรณ์ Aerobic Ponds

เป็นสระสุดท้ายมีความลึกประมาณ 1.00 เมตร สระนี้จึงถือเป็น Aerobic Ponds ที่แท้จริง มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่ำ ใส่ผักตบชวาเป็นเนื้อที่สระ 60 ตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 30 ของพื้นที่สระ แสงแดดสามารถส่องลงไปถึงก้นสระทำให้เกิดปฏิกิริยาแบบ Aerobic Process โดยสมบูรณ์จึงทำให้น้ำในสระนี้ใสและสามารถปล่อยน้ำทิ้งออกสู่พื้นที่ข้างเคียงได้

โดยหลักการถ้าปล่อยน้ำเสียให้มีการกักเก็บเพื่อให้เกิดการฟอกตัวเองตามธรรมชาติ ถ้ามีปริมาณน้ำเสียและระยะเวลาการกักเก็บนานพอ คุณภาพน้ำเสียที่ออกมาก็จะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่ปัจจุบันมีน้ำเสียเข้าสู่ระบบสระพักน้ำผันสภาพมอดินแดงเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิมมาก จึงเป็นเหตุให้สระต้องรับ Organic Loading เกินจากที่ได้ออกแบบไว้แต่เดิมมากจนกระทั่งระบบไม่สามารถรับภาระได้ น้ำเสียจึงเกิดเน่าเสีย ก่อเหตุรำคาญจากกลิ่นเหม็น

ปัญหาที่เกิดขึ้นจึงน่าที่จะมีการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียแห่งนี้ โดยหาแนวทางเลือกระบบบำบัดที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐกิจ มีค่าใช้จ่ายและค่าดำเนินการน้อยและการดูแลรักษาง่าย จึงได้นำแนวคิดในการปลูกพืชน้ำมาใช้เสริมประสิทธิภาพของระบบการบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่เดิม ซึ่งเคยมีผู้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำพืชน้ำมาบำบัดน้ำเสียชุมชน (ปรีดา, 2529) น้ำเสียที่มีสารเคมีและโลหะหนัก (กิตติ และสำอาง, 2530) นอกจากนั้นยังมีการศึกษาถึงการหาชีวมวล (Biomass) ของพืชน้ำที่เกิดขึ้นหลังจากการใช้บำบัดน้ำเสียแล้วนำมาใช้ประโยชน์ (เพลินจิต และคณะ, 2530; เรียม, 2530)

มีพืชน้ำหลายชนิดที่มีการศึกษาว่าสามารถบำบัดน้ำเสียได้ตัวอย่างเช่น ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) ธูปฤษี (*Typha latifolia*) ผักเป็ดน้ำ (*Alternanthera philoxeroides*) อ้อ (*Phragnites connumis*) แหน (*Lemma spp.*) ดีปลีน้ำ (*Potamogeton crispus*) และกก (*Scirpous Lacustris*) ในบรรดาพืชน้ำดังกล่าวผักตบชวาได้รับความ

สนใจนำมาศึกษากันอย่างกว้างขวาง (Wolverton, 1975; เพลินจิต และคณะ, 2530 ; เรียม, 2530)

ผักตบชวามีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Eichhornia crassipes Solms* ชื่อสามัญว่า *Water Hyacinth* อยู่ในวงศ์ Pontederiaceae เป็นพืชน้ำประเภทใบเลี้ยงเดี่ยว ลอยน้ำได้ โดยไม่ต้องมีที่ยึดเกาะ สามารถแพร่พันธุ์ได้รวดเร็วมาก แผ่นใบคล้ายรูปหัวใจ เป็นมันหนา ก้านใบพองออกตรงช่องกลาง ภายในมีลักษณะเป็นรูพรุนช่วยพยุงลำต้นให้ลอยน้ำได้ ผักตบชวาสามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำ ทั้งในน้ำสกปรกและสะอาด เจริญเติบโตได้ดีที่ pH 4-10 และอุณหภูมิของน้ำไม่สูงกว่า 34°C และในต้นพืชจะมีน้ำเฉลี่ยประมาณร้อยละ 95 (ในใบร้อยละ 89 และในก้านใบร้อยละ 96.7) ผักตบชวาช่วยในการบำบัดน้ำเสีย โดยอาศัยคุณสมบัติทำหน้าที่เป็นตัวกรองผักตบชวาที่ขึ้นอย่างหนาแน่นเปรียบได้กับการบรรจุวัสดุพรุนซึ่งกรองน้ำที่ไหลผ่านกอผักตบชวาอย่างช้า ๆ จึงทำให้ของแข็งแขวนลอยต่าง ๆ ที่ปนอยู่ในน้ำถูกสะกัดกั้น นอกจากนั้นระบบรากที่มีจำนวนมากจะช่วยกรองสารอินทรีย์ที่ละเอียด และจุลินทรีย์ที่อาศัยเกาะอยู่ที่รากช่วยดูดสารอินทรีย์ไว้ด้วยอีกทางหนึ่ง รากผักตบชวาจะดูดสารอาหารที่อยู่ในน้ำ ลำเลียงไปยังใบเพื่อสังเคราะห์แสง ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจึงถูกกำจัดไป อย่างก็ตามไนโตรเจนในน้ำเสียนั้นส่วนมากจะอยู่ในรูปของสารประกอบทางเคมี เช่น สารอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic - N) แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3 - N) และไนเตรทไนโตรเจน (NO_3 - N) พบว่า ผักตบชวาสามารถดูดไนโตรเจนได้ทั้ง 3 ชนิด แต่ในปริมาณที่แตกต่างกันคือ ผักตบชวาสามารถดูดอินทรีย์ไนโตรเจนได้สูงกว่าไนโตรเจนรูปอื่น ๆ คือ ประมาณร้อยละ 95 ขณะที่ไนเตรทไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจนจะลดลงประมาณร้อยละ 80 และร้อยละ 77 ตามลำดับ แต่การใช้ผักตบชวาบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงจะส่งผลให้ผักตบชวาเจริญเร็วขึ้นและปกคลุมพื้นผิวน้ำมากขึ้น จึงควรมีการดูแลระบบเก็บต้นที่เจริญเต็มที่ขึ้นจากน้ำอย่างสม่ำเสมอ ไม่เช่นนั้นเมื่อผักตบชวาตายจะเน่าอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำเสียนั้นมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอีก นอกจากนี้รากของผักตบชวามีแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนแกรมลบ คือ *Azospirillum spp.* และมีคุณสมบัติพิเศษสามารถตรึงไนโตรเจนได้ประมาณ 2.5 กิโลกรัม/เอเคอร์/วัน (De Busk and Reddy, 1986)

ผักตบชวาขึ้นได้ในทุกสภาพน้ำและสามารถบำบัดน้ำเสียได้โดยตรง แต่ถ้าน้ำเสียมีสารมลพิษอยู่ปริมาณสูง หรือน้ำเสียมีปริมาณมาก การใช้ผักตบชวาบำบัดน้ำเสียจะให้ผลช้าและน้ำอาจเน่าเสียได้ จึงควรที่ใช้ผักตบชวาร่วมกับการบำบัดน้ำเสียระบบอื่นด้วยจึงจะให้ผลดี

ปรีดา (2529) ศึกษารูปแบบการบำบัดน้ำเสียจากเทศบาลเมืองขอนแก่น โดยใช้ระบบสระพักน้ำผันสภาพร่วมกับการใช้ผักตบชวา พบว่าสามารถช่วยลดค่าความสกปรกในรูปความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (บีโอดี ; BOD) และสารแขวนลอยลงได้ถึงร้อยละ 50.14 และร้อยละ 30 ตามลำดับ

กิตติ และสำอาง (2530) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้กกกลมและผักตบชวาที่ปลูกในน้ำเสียโรงงานเป็นเวลา 1 เดือน พบว่าผักตบชวาสามารถลดค่าบีโอดี ค่าซีโอดี สารแขวนลอยรวม ฟอสเฟต และสีของน้ำ ได้เฉพาะในช่วง 20 วันนับจากเริ่มปลูก และมีประสิทธิภาพในการลดค่าดังกล่าวของผักตบชวาสูงกว่าตัวควบคุม (น้ำเสียที่ไม่ได้ปลูกผักตบชวาและกกกลม) 14.3%, 18.3%, 87.9%, 87.5% และ

4.5% ตามลำดับ (ที่ระยะเวลา 20 วัน) นอกจากนี้ผักตบชวายังมีคุณสมบัติในการรักษาระดับความเป็นกรดความเป็นด่างของน้ำเสียให้มีค่าคงที่อยู่ที่ระดับ pH ใกล้เคียง 7

การวิจัยนี้ได้มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมของสระพักน้ำผันสภาพมอดินแดง โดยการขุดลอกสระ จากนั้นใส่แพลอยผักตบชวาในสระที่ 4 คัดเลือกต้นผักตบชวาขนาดกลาง ใส่ในแพที่ลอยได้ เป็นเนื้อที่ 60 ตารางเมตร (ร้อยละ 30 ของสระที่ 4) เพื่อเสริมประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียให้ดีขึ้นก่อนปล่อยน้ำทิ้งออกสู่บริเวณข้างเคียง หลังจากปล่อยให้ระบบทำงานเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จึงทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำในสระทางกายภาพและเคมี ได้แก่ อุณหภูมิ (Temperature) ความเป็นกรดความเป็นด่าง (pH) สารแขวนลอย (Suspended solids) ปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved oxygen) ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand; BOD_5) และตลอดระยะเวลาของการวิจัยมีการดูแลผักตบชวาโดยเก็บต้นแก่ทิ้งให้มีปริมาณคงที่

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำเสียของระบบสระพักน้ำผันสภาพร่วมกับผักตบชวา

วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research)

การเตรียมตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำเสียโดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง (Wastewater Sampler) เก็บจากตำแหน่งน้ำเข้าในแต่ละสระและน้ำเสียที่ออกจากสระสุดท้าย รวม 5 จุด เก็บแบบจ้วง (Grab Sampling) จุดเก็บละ 2 ตัวอย่างต่อจุด ที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 30 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างน้ำ 2 สัปดาห์ต่อครั้ง จำนวน 6 ครั้ง นำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีในห้องปฏิบัติการ ตรวจตัวอย่างละ 3 ซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ยเมื่อครบการตรวจทั้ง 6 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยทั้ง 6 ครั้งอีกทีเพื่อแสดงคุณภาพน้ำแต่ละจุด รวมตัวอย่างน้ำที่ทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ 180 ตัวอย่าง ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม 2537 โดยใช้ขวดเก็บตัวอย่างน้ำโพลีเอทิลีน (Polyethylene) และใช้ขวดบีโอดีขนาด 300 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างเพื่อตรวจวิเคราะห์ออกซิเจนละลายโดยทำการ Fix ออกซิเจน ณ จุดเก็บ วัดอุณหภูมิน้ำและอากาศโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดปรอท วัดความเป็นกรดความเป็นด่างของน้ำด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดความเป็นด่างแบบสนาม (Portable pH meter) ตัวอย่างน้ำที่เก็บจะแช่เย็นในกระติกน้ำแข็งและนำมาวิเคราะห์ทันทีในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์สุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วิธีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพ

การวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีใช้วิธีมาตรฐานที่กำหนดใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (APHA, AWWA and WEF, 1992) คุณภาพน้ำที่วิเคราะห์ดังตารางที่ 1

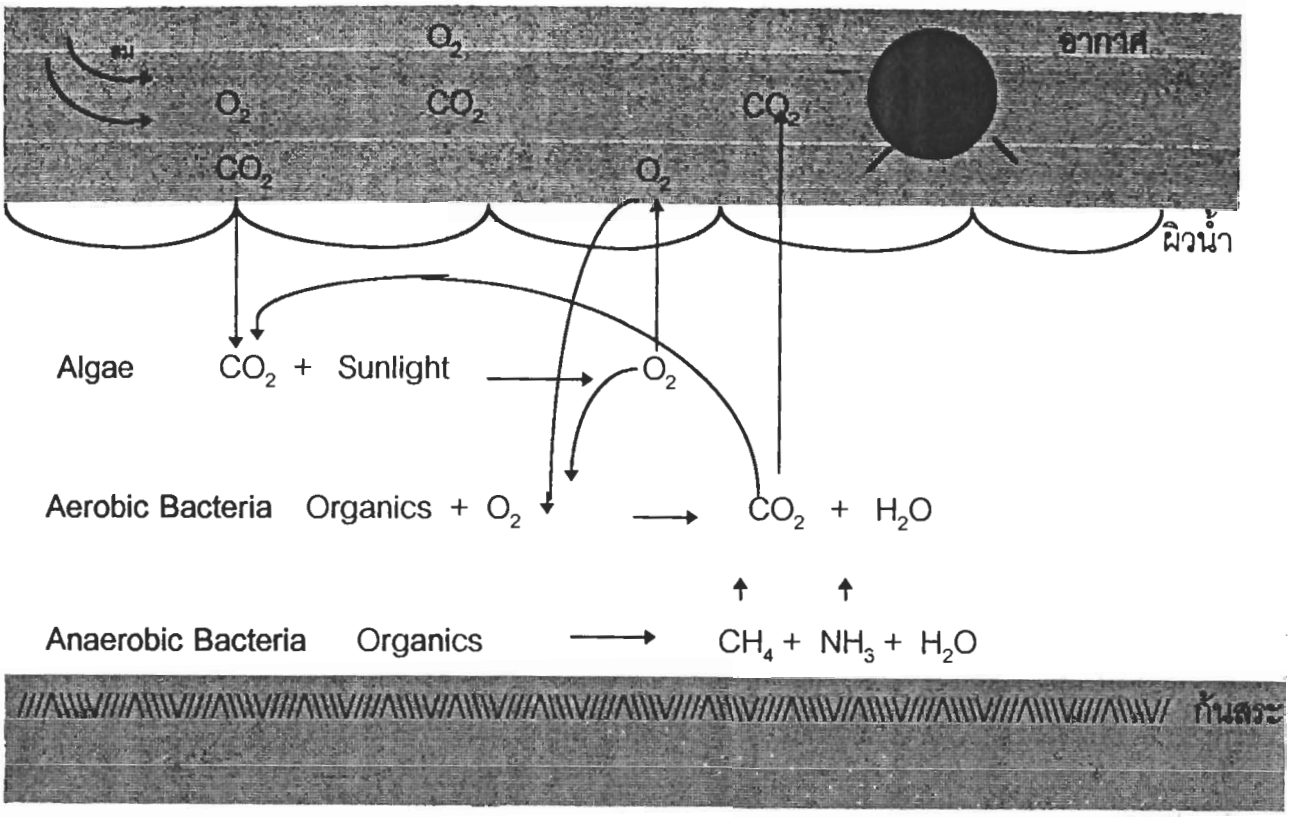
ตารางที่ 1 สรุปคุณภาพน้ำและวิธีที่ตรวจวิเคราะห์

คุณภาพน้ำ	วิธีวิเคราะห์	หมายเหตุ
1. อุณหภูมิ (Temperature)	- เทอร์โมมิเตอร์ ชนิดปรอท	-วัดที่จุดเก็บ
2. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	- พีเอชมิเตอร์แบบสนาม ตามวิธีการหาค่าแบบ Electrometric Method	-วัดที่จุดเก็บ
3. สี (Color)	- เทียบสีแพลทตินั่มโคบอลต์	
4. ความขุ่น (Turbidity)	- เนฟฟีโลมิเตอร์	
5. สารแขวนลอย (Suspended solids; SS)	- กรองผ่าน Glass Fiber Filter Disc แล้วอบแห้งที่ 103 °C	
6. ปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen; DO)	- วิธีเอไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide Modification)	
7. ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand ; BOD)	-วิเคราะห์แบบเจือจางไม่เติมเชื้อ (Seed) วิธีเอไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) บ่มติดต่อกัน 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 °C	

ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยโดยระบบสระพักน้ำผันสภาพร่วมกับการใช้ผักตบชวา เพื่อเป็นแนวทางในวางแผนการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียมอดินแดงก่อนระบายน้ำทิ้งสู่แหล่งน้ำข้างเคียง

ลักษณะทั่ว ๆ ไปของสระพักน้ำผันสภาพจะเป็นบ่อดินกลางแจ้งขนาดใหญ่มีลักษณะคล้ายสระน้ำซึ่งก้นสระและด้านข้างสระอัดดินแน่นสามารถกันการซึมของน้ำได้ การบำบัดน้ำเสียจะเป็นกระบวนการต่อเนื่อง คือ ปล่อยให้น้ำเสียไหลเข้าสระและออกจากสระตลอดเวลา ในระหว่างที่น้ำเสียถูกกักอยู่ในสระ จุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะเป็นปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและพืชสีเขียวในสระ และออกซิเจนจากอากาศละลายในสระ น้ำเสียในสระจะต้องถูกกักเก็บไว้นานมากกว่า 30 วัน (Detention Period) การออกแบบจะให้รับน้ำเสียได้ 2.50 ไร่ต่อ 400 คน (400 คน/เอเคอร์) หรือ 50 ปอนด์ บีโอดี/วัน (ธวัชชัย, 2534) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระบบสระพักน้ำผันสภาพจะต้องใช้พื้นที่ในการกำจัดน้ำเสียบริเวณกว้างเพื่อให้น้ำมีเวลากักขังไว้ในสระได้นานวัน การสลายตัวของสารอินทรีย์ก็เป็นไปอย่างช้า ๆ เพื่อให้น้ำเสียได้รับออกซิเจนมาเติมตลอดเวลา น้ำที่ออกจากสระพักน้ำผันสภาพยังคงมีอินทรีย์สารที่ยังย่อยสลายไม่หมดจำนวนมาก หากจะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะต้องมีการควบคุมบีโอดีที่พอเหมาะตามมาตรฐานน้ำเสียก่อน จึงจะไม่เกิดผลเสียแก่ลำน้ำได้



รูปที่ 2 ระบบการทำงานของสระผันสภาพ

ที่มา : Metcalf & Eddy. 1991. Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse. 3Rd Ed, Singpore : McGraw-Hill Book Co. : 437.

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นการทำงานในระบบสระผันสภาพที่ต้องการอากาศ เพื่อให้กลุ่ม Aerobic Bacteria ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จึงต้องประกอบด้วยปัจจัย ดังนี้

1) ความต้องการออกซิเจนละลาย (Dissolve Oxygen; DO) จากอากาศและจากพืชสีเขียวในกระบวนการ Photosynthesis

2) กลุ่มจุลินทรีย์พวกใช้อากาศ (Aerobic Bacteria)

3) แสงแดดและแสงสว่าง (Sun-light) เพื่อการสังเคราะห์แสง

4) การเคลื่อนไหวของอากาศ (Movement of Air หรือ Wind) ให้เกิดการหมุนเวียนหรือทำให้น้ำเคลื่อนตัวในสระ

5) กลุ่มพืชสีเขียว (Green Plants) เพื่อให้เกิดกระบวนการถ่ายเทอากาศโดยเฉพาะ O_2 และ CO_2 และการนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตทั้งของพืชสีเขียวและของจุลินทรีย์

จากปัจจัยข้างต้นทำให้เกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เริ่มด้วยสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะถูกพืชน้ำหรือสาหร่ายเซลล์เดียวนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง การสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการธรรมชาติของการดำรงชีวิตของพืชสีเขียวที่มีคลอโรฟิลและใช้แสงแดด ทำให้ออกซิเจนในคาร์บอนไดออกไซด์ถูกแยกออกและละลายในของเหลวที่พืชสีเขียวเจริญ ผลที่ได้

คือ สารอินทรีย์ในน้ำสกปรกจะถูกเปลี่ยนไปเป็นอาหารของพืชและทำให้อินทรีย์สารลดลง พวกแบคทีเรียจะเกิดการเจริญแพร่พันธุ์เพื่อกินอินทรีย์สาร และคายคาร์บอนไดออกไซด์ให้แก่พืช พืชสีเขียวจะได้สารอาหารจากน้ำเสีย ใช้แสงแดดและกระแสลมในการสังเคราะห์แสงวนเวียนกันอยู่อย่างนี้เรื่อยไปเป็นวัฏจักร จนปริมาณบีโอดีของน้ำเสียลดลง สภาพการฟอกตัวเองตามธรรมชาตินี้จะเกิดขึ้นตลอดเวลาทำให้คุณภาพน้ำในสระดีขึ้น

สระพักน้ำผันสภาพมอดินแดงมีอัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย ดังนี้

ปริมาตรน้ำเสียที่ไหลเข้าระบบ

$Q = a \times V$

a = พื้นที่หน้าตัดของรางรับน้ำเสียซึ่งเป็นครึ่งวงกลมมีรัศมี 20 เซนติเมตร (0.2 เมตร)

$= 1/2\ \pi r^2$

$= 1/2\ \pi 0.20^2$

V = ความเร็วของการไหลของน้ำเสียในรางรับน้ำเสีย

= 6 เมตร / นาที

แทนค่า

$Q = 1/2\ \pi 0.20^2 \times 6$ เมตร^2 $\times$ เมตร / นาที

$= 0.38$ เมตร^3 / นาที

$= 547.2$ เมตร^3 / วัน

ในแต่ละวันมีน้ำเสียเข้าสู่ระบบสระพักน้ำผันสภาพมอดินแดง 547.2 เมตร^3 / วัน

จากการตรวจคุณภาพน้ำเสียในตำแหน่งน้ำเข้าระบบ มี บีโอดี 133.33 มิลลิกรัม/ลิตร

ดังนั้นน้ำเข้าในระบบวันหนึ่ง ๆ มี บีโอดี 72,958.18 กรัม/วัน = 73 กิโลกรัม/วัน

แต่ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียโดยระบบสระพักน้ำผันสภาพตามทฤษฎีพบว่า

พื้นที่ 1 เอเคอร์ (2.5 ไร่) สามารถบำบัดน้ำเสียได้ 50 ปอนด์บีโอดี/วัน

นั่นคือ 1 ตารางเมตรสามารถบำบัดน้ำเสียได้ 5.62 กรัม/วัน

พื้นที่สระพักน้ำผันสภาพมอดินแดง รวม 4 สระ 5,128 ตารางเมตร

ดังนั้นจึงคาดว่าสระพักน้ำผันสภาพมอดินแดงสามารถบำบัดน้ำเสียได้ 5,128 $\times$ 5.62

28.82 กิโลกรัม/วัน

แต่น้ำเข้าในระบบจริง ๆ ในแต่ละวันมีบีโอดี 73 กิโลกรัม/วัน

ฉะนั้นโดยทฤษฎีระบบสระพักน้ำผันสภาพมอดินแดงจะสามารถบำบัดน้ำเสียได้เพียง

39.5 % ของความสกปรกของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ

จากการตรวจคุณภาพน้ำเสียในตำแหน่งน้ำออกจากระบบมีบีโอดี 48.03 มิลลิกรัม/ลิตร

นั่นคือตามความเป็นจริงระบบสระพักน้ำผันสภาพมอดินแดงสามารถบำบัดน้ำเสียได้

64.0 % ของความสกปรกของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ

(เมื่อเทียบกับคุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบซึ่งมีบีโอดี 133.33 มิลลิกรัม/ลิตร)

จะเห็นได้ว่า ตามความเป็นจริงแล้ว สระพักน้ำผันสภาพมอดินแดง ซึ่งมีผักตบชวาร่วมในระบบด้วย สามารถบำบัดน้ำเสียได้มากกว่าตามทฤษฎี ถึงประมาณ 1.6 เท่า (64.0 % ต่อ 39.5 %)

ตารางที่ 2 สรุปลักษณะทางกายภาพของสระพักน้ำผันสภาพมอดินแดง

สระที่	กว้าง x ยาว พื้นที่ ($ม^2$)	ความลึก (ม.)	ความจุ ($ม^3$)	Detention period (d)	ประเภทการ บำบัด	หมายเหตุ
1	34 x 73 2,482	2.0	4,964	9.1	Facultative	
2	32 x 44 1,408	1.4	1,971.2	3.6	Aerobic	มีสาหร่ายจำนวนมากแต่น้อยกว่าสระที่ 3
3	32 x 34 1,088	1.4	1,523.2	2.8	Aerobic	มีกังหันเติมอากาศและมีสาหร่ายจำนวนมาก
4	12 x 17 204	1.0	204	ประมาณ 9 ชั่วโมง	Aerobic	ใส่ผักตบชวา 60 ตารางเมตร (ร้อยละ 30 ของพื้นที่ผิว) ตรงตำแหน่งปากท่อน้ำเข้า
รวม	5,128		8662.4	15.9		

ผลการตรวจคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีพบว่ามีค่าเฉลี่ย ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีของสระพักน้ำผันสภาพมอดินแดง ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนพฤษภาคม 2537

พารามิเตอร์	1 น้ำเข้าสระที่ 1	2 น้ำเข้าสระที่ 2	3 น้ำเข้าสระที่ 3	น้ำเข้าสระที่ 4	5 น้ำออกจากระบบ	มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน
Temperature	27.65	28.07	28.08	27.97	27.95	23-32 °C*
Color	62.50	140.00	136.67	140.00	115.00	-
Turbidity	71.07	66.33	81.17	63.67	47.82	-
pH	7.07	7.57	7.55	7.58	7.72	5 - 9**
Suspended solids	61.39	54.50	50.67	20.05	15.33	<30มก./ล**
DO	0.10	2.90	3.22	4.58	4.20	> 3 มก./ล*
BOD_5	133.33	51.50	41.42	59.50	48.03	< 20มก./ล**

ที่มา * *สถาบันประมงน้ำจืดแห่งประเทศไทย ฉบับที่ 75 (พ.ศ. 2530) เรื่อง เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด*

** *ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภท และบางขนาด ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 111 ตอนพิเศษ 9 ง ลงวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2537 (ภาคผนวก ฉ)*

ผลการวิจัยแยกตามดัชนีวัดคุณภาพน้ำ ดังต่อไปนี้

อุณหภูมิ (Temperature)

ช่วงที่วิจัยเป็นฤดูร้อน อากาศร้อนแห้งพบว่าอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 35.5 - 39.7°C อุณหภูมิน้ำเสียทั้ง 5 จุดเก็บใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 26.5 - 29°C ในจุดเก็บสุดท้ายซึ่งมีการบำบัดน้ำเสียด้วยผักตบชวาพบว่ามีอุณหภูมิไม่แตกต่างจากจุดเก็บอื่น ๆ (กราฟที่ 1) การมีผักตบชวาในระบบบำบัดน้ำเสียไม่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดของอุณหภูมิของแหล่งน้ำแต่อย่างใด

สีของน้ำ (Color)

วัดค่าสีทั้ง 5 จุดเก็บมีค่าต่างกัน (กราฟที่ 2) ค่าสีมีการเพิ่มขึ้นในทุกจุดเก็บ (เทียบกับจุดน้ำเข้าระบบเป็นจุดเก็บตัวอย่างที่ 1) กล่าวคือจุดเก็บที่ 2 ที่ 3 และที่ 4 มีสีสูงมากถึง 140 หน่วยสี และจุดเก็บสุดท้ายมีค่าสี 115 หน่วยสี การเพิ่มขึ้นของสีมาจากการที่น้ำเสียมีสารอินทรีย์ที่เข้าระบบบำบัดในระยะแรกเป็นอนุภาคของแข็งขนาดใหญ่ เศษอาหาร ซากพืช ซากสัตว์ จำนวนมาก การย่อยสลายของสารอินทรีย์ไม่สมบูรณ์หรือช่วงระยะกำลังย่อยสลายจะมีสารแขวนลอยสูงสีของน้ำจะเข้มจึงวัดได้ค่าสีสูง หากน้ำมีการย่อยสลายที่ค่อนข้างสมบูรณ์ขึ้นสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายไปบ้างแล้วจะทำให้น้ำมีสีดีขึ้นดังผลการวัดสีในจุดเก็บตัวอย่างที่ 5 ซึ่งผ่านการบำบัดร่วมกับผักตบชวา ผักตบชวาจะช่วยดูดย่อยสารอินทรีย์

ละลายในน้ำจึงทำให้ค่าของสีลดลง เนื่องจากผักตบชวาใช้สารอินทรีย์ในการเจริญเติบโต

ความขุ่น (Turbidity)

ผลการวัดความขุ่นทั้ง 5 จุดเก็บ พบว่าความขุ่นมีค่าลดลงเล็กน้อยทุกจุดเก็บ เมื่อเทียบกับจุดเก็บที่ 1 กล่าวคือน้ำเสียจุดแรกมีความขุ่นเฉลี่ย 71.1 เอ็นทียู และเมื่อถึงจุดเก็บสุดท้ายมีความขุ่นลดลงเหลือ 47.8 เอ็นทียู (กราฟที่ 3) ซึ่งระบบสระพักน้ำผันสภาพร่วมกับการใช้ผักตบชวามีการลดความขุ่นได้เพียงร้อยละ 32.7

ความเป็นกรดความเป็นด่าง (pH)

ในน้ำทั้ง 5 จุดเก็บมีค่าอยู่ในช่วง 6.8 - 8.1 ซึ่งอยู่เกณฑ์มาตรฐานน้ำเสียชุมชนซึ่งกำหนดไว้ในช่วง 5 - 9 ดังกราฟที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดความเป็นด่างของระบบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำเสียชุมชน ค่าความเป็นกรดความเป็นด่างพบว่าน้ำมีความเป็นกลาง แสดงว่าการปลูกผักตบชวาในระบบบำบัดน้ำเสียไม่มีผลต่อความเป็นกรดความเป็นด่างในน้ำ และผักตบชวาสามารถเจริญอยู่ได้ในสภาพน้ำที่มีค่าความเป็นกรดความเป็นด่างนี้ (เจริญได้ดีที่ pH 4-10, เพลินจิต, 2530)

สารแขวนลอย (Suspended Solids)

ผลการวัดสารแขวนลอยทั้ง 5 จุดเก็บ พบว่าปริมาณสารแขวนลอยมีค่าลดลงทุกจุดเก็บ (เทียบกับจุดน้ำเข้าระบบ คือ จุดเก็บที่ 1) กล่าวคือน้ำเสียจุดแรกมีสารแขวนลอยเฉลี่ย 61.4 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อถึงจุดเก็บสุดท้ายลิตรซึ่งเป็นน้ำทิ้ง (Effluent) มีสารแขวนลอยเฉลี่ยลดลงเหลือ 15.33 มิลลิกรัม/ลิตร ระบบสระพักน้ำผันสภาพร่วมกับการใช้ผักตบชวามีการลดปริมาณสารแขวนลอยได้ถึงร้อยละ 75.0 และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำเสียชุมชนซึ่งกำหนดให้มีปริมาณสารแขวนลอยไม่เกิน 30 มิลลิกรัม/ลิตร

ปริมาณออกซิเจน (Dissolved oxygen)

วัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำเสียแรกเข้าระบบมีค่าต่ำมาก (เฉลี่ย 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร) และพบว่ามีค่าออกซิเจนละลายมีการเพิ่มขึ้นในทุกจุดเก็บ (กราฟที่ 6) และเพิ่มมากที่จุดเก็บที่ 4 และเป็นค่าออกซิเจนละลายสูงกว่าจุดเก็บอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ย 4.6 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นเพราะมีการเติมออกซิเจนโดยการใช้กังหันชัยพัฒนาเข้าช่วย แต่ออกซิเจนละลายที่ผ่านผักตบชวามีค่าลดลงเล็กน้อย (ในจุดเก็บที่ 5) ค่าออกซิเจนในแหล่งน้ำที่ลดลงเนื่องมากจากถูกแบคทีเรียใช้ไปในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ยังย่อยไม่หมด และแสดงว่าผักตบชวาก็มีส่วนช่วยในการเพิ่มออกซิเจนให้กับแหล่งน้ำได้ส่วนหนึ่งแต่ไม่เท่ากับเติมอากาศโดยใช้เครื่องมือช่วย

สรุปผลการวิจัย

1. การนำผักตบชวามาร่วมบำบัดกับสระพักน้ำผันสภาพหลายขั้นตอน สามารถลดค่า ความสกปรกของน้ำเสียในรูปของบีโอดีได้ถึงร้อยละ 64 ซึ่งเป็นผลที่น่าพอใจ แม้ว่าค่าบีโอดีของน้ำทิ้ง (จุดเก็บที่ 5) เป็น 48 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนอยู่บ้าง (20 มิลลิกรัม/ลิตร) แต่ก็อยู่ในเกณฑ์อนุโลมเพราะไม่ได้ระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ (dilution)

2. ขีดความสามารถของผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียร่วมกับระบบสระพักน้ำหลายขั้นตอนสามารถลดค่าสารแขวนลอยได้ถึงร้อยละ 67.3 จึงถือว่าสามารถลดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เป็นที่น่าพอใจยิ่งและทำให้ความขุ่นลดลงไปได้ถึงร้อยละ 32.7 และสามารถลดค่าของสีในน้ำลงได้ร้อยละ 17.8 แต่ถึงกระนั้นก็ตามค่าของสีในน้ำทิ้งก็ยัง

สูงกว่าค่าของสีในน้ำเสียแรกเข้าระบบโดยภาพรวมของระบบแล้วพบว่าค่าของสีกลับสูงขึ้นถึงร้อยละ 84 ส่วนพีเอชพบว่าการใช้ผักตบชวาร่วมบำบัดน้ำเสียมีค่า 72 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของเพลินจิต (2530) ในการพบประสิทธิภาพของผักตบชวาในการกำจัดโลหะหนัก แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว ที่สรุปว่าผักตบชวามีส่วนช่วยรักษาระดับความเป็นกรดความเป็นด่างของน้ำเสียให้คงที่ให้อยู่ที่ระดับใกล้เคียงกับ 7 ซึ่ง Wolverton และ Mc Dolnald (1979) ให้เหตุผลว่าผักตบชวาที่อยู่ในน้ำเสียจะช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำ (ทำให้เกิด acidity) ซึ่งเดิมขาดแคลนเนื่องจากถูกสาหร่ายนำไปใช้

3. ประสิทธิภาพการทำงานของผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียสามารถบำบัดได้ถึง 1.6 เท่า เมื่อเทียบกับระบบบำบัดของสระพักน้ำผันสภาพที่ออกแบบโดยไม่มีผักตบชวาร่วม

ข้อแนะนำ

1. การวิจัยใช้ผักตบชวาใส่ในสระทดลอง (สระที่ 4) เพียงร้อยละ 30 ของพื้นที่สระทดลองยังสามารถทำงานได้ถึง 1.6 เท่าของระบบที่ไม่ได้ใส่ผักตบชวา ถ้าจะมีการพัฒนานำผักตบชวามาใช้ให้มากขึ้นและใส่ผักตบชวาในทุกสระตามปริมาณที่เหมาะสมแล้วอาจจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพมากกว่านี้

2. ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ในน้ำเสียไม่ว่าจะอยู่ในรูปสารละลายหรือสารแขวนลอย ผักตบชวาจะสามารถนำมาใช้เป็นอาหารได้จึงสามารถลดค่าบีโอดี และเพิ่มออกซิเจนละลายน้ำมากขึ้น แต่จะต้องมีการดูแลเก็บต้นแก่และซากวัชพืชที่ตายหรือเจริญงอกงามในน้ำออกอยู่เสมอ และจะใช้ได้ดีกับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีขนาดเล็ก ต้องดูแลรักษาสภาพของสระผันสภาพให้ดี ไม่เช่นนั้นการเพิ่มจำนวนของผักตบชวาที่เจริญมากจะไปบดบังแสงแดดและซากเน่าเปื่อยของผักตบชวาเองจะเพิ่มภาระการเน่าเสียในน้ำเสียมากขึ้นอีก

บรรณานุกรม

กิตติ เอกอำพล และ สำอาง หอมชื่น. 2530. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้กกกลม (*Scirpus muronatus*) และผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*). **วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม.** 9(1) : 14-31.

ข้าวทิพย์ เจนธุระกิจ และ พิมล เรียนวัฒนา. 2533. การนำผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) มาใช้ในการลดปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม. **วารสารการอนามัยสิ่งแวดล้อม.** 13 (3) : 49-70.

ปรีดา แย้มเจริญวงศ์ (ม.ป.ป.) การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากชุมชนโดยระบบสระพักน้ำผันสภาพ ร่วมกับการใช้ผักตบชวา (ม.ป.ท.) : 113-120.

ธวัชชัย เนียรวิฑูรย์. 2534. **การสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม.** พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เพลินจิต ทมทิตชงค์ สนธิ คชวัฒน์ และ ศักดิ์สิทธิ์ ตรีเดช. 2530. ประสิทธิภาพของผักตบชวาในการกำจัดโลหะหนัก แคดเมียมทองแดง ตะกั่ว. **วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม.** 9 (1) : 1-31.

มันสิน ตัณฑุลเวศน์. 2534. บ่อกำจัดน้ำโสโครกที่มหาวิทยาลัยของแก่น เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ **"การดำเนินงานสุขาภิบาลและอนามัยสิ่งแวดล้อมและการขจัดน้ำเสีย"** คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

APHA, AWWA and WEF. 1992. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 18th Ed. , Washington, DC ; American Public Health ASS.

De Busk, W.F. and Reddy, K, R . 1986. Density Requirements to Maximize the Productivity of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*). **Conference on Research and Application of Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery.**

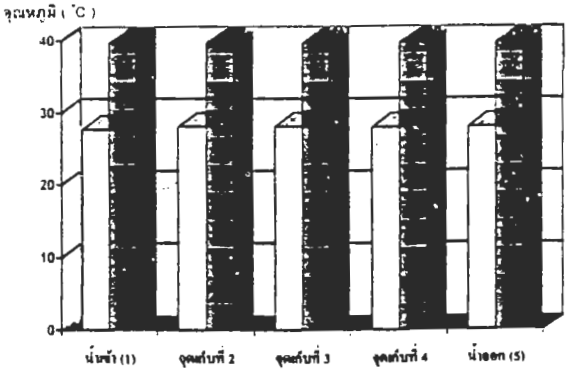
Orlando, Florida, U.S.A, July 20-24, session IV. APC-63.

Metcalf & Eddy. 1991. **Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse.** 3Rd Ed. Singapore : McGraw-Hill Book Co. : 437.

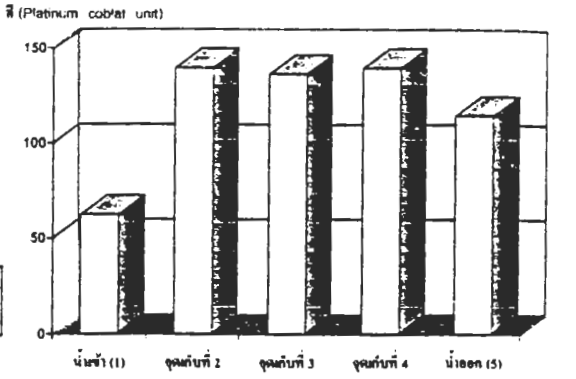
Wolverton, B.C., McDonald, Rebecca C. 1979. Nutritional Composition of *Water Hyacinth* grow on Domestic Sewage. **Econ Bot.** 32 (4): 63-70.

คำสำคัญ * น้ำเสียจากที่พักอาศัย * ระบบสระพักน้ำผันสภาพ
* ผักตบชวา

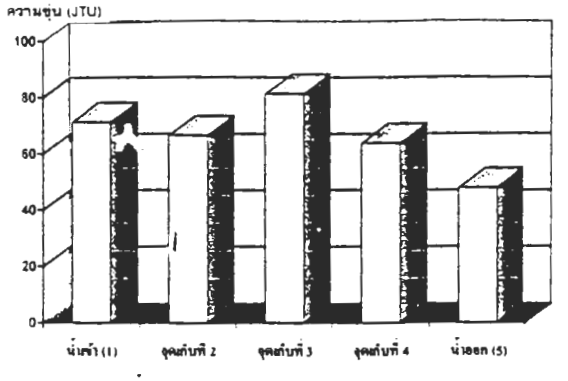
Key word * Domestic Wastewater * Series of Oxidation Ponds
* *Water Hyacinth*



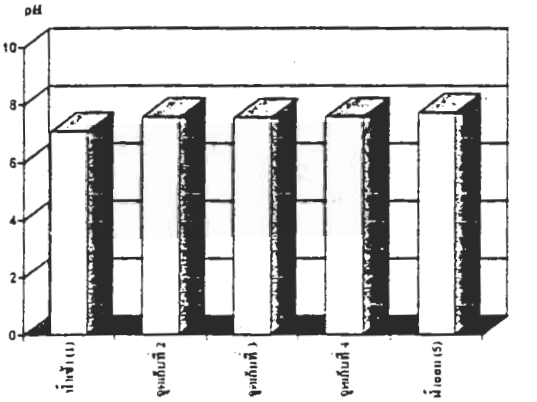
กราฟที่ 1 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำเสีย



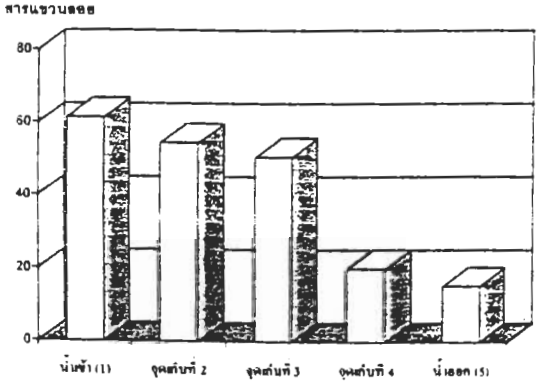
กราฟที่ 2 ค่าเฉลี่ยสีของน้ำเสีย



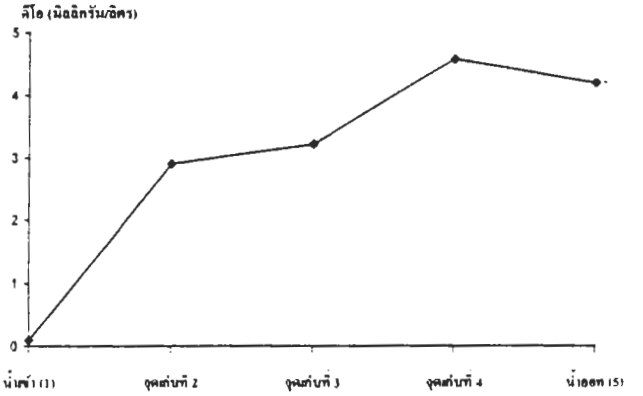
กราฟที่ 3 ค่าเฉลี่ยความขุ่นของน้ำเสีย



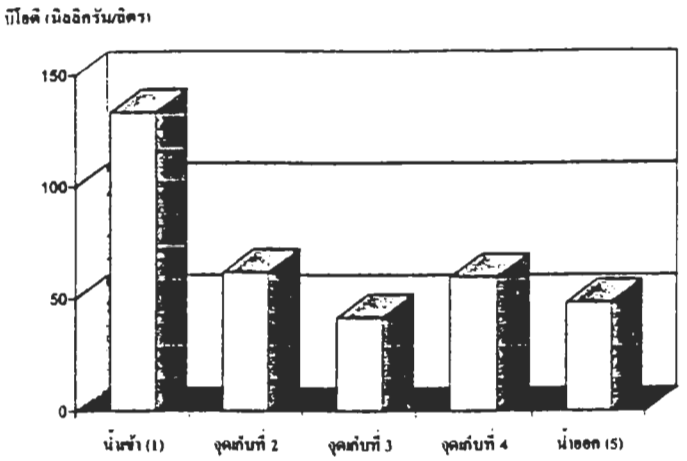
กราฟที่ 4 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเสีย



กราฟที่ 5 ค่าเฉลี่ยความขุ่นของน้ำเสีย



กราฟที่ 6 ค่าเฉลี่ยออกซิเจนของน้ำเสีย



กราฟที่ 7 ค่าเฉลี่ย BOD_5 ของน้ำเสีย