

การออกแบบและควบคุมระบบบำบัด
น้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่แบบกึ่งอัตโนมัติ
Design and Control of Wastewater Treatment
System for Water Reuse by Semi-Automatic Operation

ณัฐภัทร เทียรติทรัพย์ * และ เจนจิต เอี่ยมจตุรภัทร

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

*Corresponding author; E-mail address: natapat2536@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาและพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำทิ้งชุมชนคลองบางเขนใหม่กลับมาใช้ใหม่ทดแทนกิจกรรมการใช้น้ำภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ผลการศึกษาพบว่า การใช้ระบบเอสปีอาร์ร่วมกับระบบกรองด้วยทรายและเมมเบรนมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งดังกล่าวให้เป็นไปตามมาตรฐาน U.S. EPA สำหรับนำกลับมาใช้ใหม่ในชุมชน (Urban Reuse) โดยประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี บีโอดี และทีโอดี คิดเป็นร้อยละ 66.2, 51.9 และ 31 ตามลำดับ สารอาหารในรูปไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 79.7 และ 94.7 ตามลำดับ และปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 99 การใช้ระบบกึ่งอัตโนมัติทำให้กำลังการผลิตน้ำเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม 2 เท่า ขณะที่การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำภายในคลองบ่อยครั้งไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำที่ผลิตได้สำหรับกรณีการใช้น้ำสำหรับกิจกรรมแบบไม่สัมผัสโดยตรง

คำสำคัญ: ระบบเอสปีอาร์, การบำบัดน้ำเสีย, นำน้ำกลับมาใช้ใหม่

Abstract

This research studies and develops the wastewater treatment system in order to reuse the community discharge water in Khlong Bang Khen Mai for water usage activities in King Mongkut's University of Technology North Bangkok. The results showed that the use of sequencing batch reactor (SBR) followed with sand and membrane filtration systems was effective in treating the water to meet the U.S. EPA standards for urban reuse. Treatment efficiencies for COD, BOD, and TOC removals were 66.2%, 51.9% and 31 % . Nutrient removals included total nitrogen and phosphorus were 79.7% and 94.7%. Removal efficiency of total coliform was 99%. Use of semi-automatic operating system could improve the water production capacity about two times higher than manual operating system, while fluctuation of water quality

in the in Khlong Bang Khen Mai do not affect the quality of the produced water and still be used for indirect contact water activity.

Keywords: SBR System, Wastewater Treatment, Water Reuse

1. บทนำ

คลองบางเขนใหม่บริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เป็นคลองที่ถ่ายเทน้ำลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างและมีระยะห่างจากปากแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างประมาณ 50-60 กิโลเมตร บริเวณช่วงคลองอยู่ติดชุมชนทั้งสองฝั่งคลอง ในอดีตสภาพน้ำในคลองเป็นธรรมชาติ แต่ปัจจุบันมีการทิ้งน้ำจากชุมชนทำให้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำตลอดเวลา บางครั้งมีสภาพน้ำเป็นธรรมชาติ บางครั้งน้ำในคลองสายดังกล่าวค้ำน้ำทิ้งและมีกลิ่นเหม็น

ณัฐภัทร และธเนศ (2559) ทำการศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสียเอสปีอาร์ร่วมกับระบบกรองเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งคลองบางเขนใหม่ พบว่าคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีศักยภาพสำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่สามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ซึ่งการออกแบบและติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวใช้ระบบ Manual Operation ทำให้ได้กำลังผลิตต่ำ ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะใช้การเดินระบบแบบอัตโนมัติ เพื่อให้สามารถบำบัดน้ำได้ตลอดเวลา อย่างไรก็ตามเนื่องจากคุณสมบัติคุณภาพน้ำภายในคลองบางเขนใหม่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาจึงทำให้เมื่อนำระบบบำบัดแบบกึ่งอัตโนมัติมาใช้งานเพื่อเพิ่มกำลังผลิตน้ำอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำที่บำบัดได้

งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำเสียเอสปีอาร์ที่สามารถทำงานร่วมกับระบบกรองแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยควบคุมการทำงานด้วยพีแอลซี เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งชุมชนภายในคลองบางเขนใหม่ให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับกิจกรรมการใช้น้ำที่ไม่สัมผัสโดยตรงภายในอาคารเรียน และติดตั้งระบบส่งจ่ายน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ภายในอาคาร โดยเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกับมาตรฐานของ U.S. EPA สำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 แหล่งน้ำที่นำมาบำบัดให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่

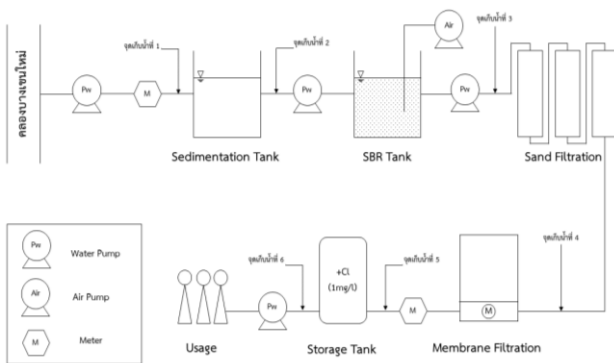
น้ำที่นำมาบำบัดเป็นน้ำภายในคลองบางเขนใหม่ ซึ่งส่วนหนึ่งของคลองพาดผ่านมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โดยสภาพคลองในปัจจุบันเกิดการผสมกันของน้ำระหว่าง น้ำสภาพธรรมชาติเดิม น้ำไหลนองจากพายุฝน และน้ำทิ้งบริเวณชุมชนบางเขนใหม่ ทำให้ลักษณะทางกายภาพของน้ำภายในคลองมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้ง บางครั้งลักษณะคล้ายสภาพแหล่งน้ำธรรมชาติ และบางครั้งลักษณะคล้ายสภาพแหล่งน้ำเสีย ดังรูปที่ 1 ในช่วงที่ศึกษาคุณภาพน้ำเมื่อนำมาวิเคราะห์ พบว่ามีคุณภาพน้ำดังแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำที่ชุมชนคลองบางเขนใหม่

2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

รูปที่ 2 แสดงลำดับขั้นตอนการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย จุดเก็บตัวอย่างน้ำ และภาพถ่ายสถานที่ติดตั้งภายในมหาวิทยาลัย โดยน้ำจะถูกสูบลูกจากคลองเข้าสู่ระบบบำบัดซึ่งต่อแบบอนุกรมดังภาพ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกเก็บได้ในถังพักน้ำ โดยส่วนหนึ่งถูกสูบไปรดน้ำต้นไม้บริเวณโดยรอบอาคาร อีกส่วนหนึ่งถูกสูบด้วยปั๊มแรงดันสูงไปเก็บไว้จนถึงพักน้ำด้านบนสุดของอาคาร เพื่อใช้สำหรับทำความสะอาดห้องน้ำ และพื้นอาคารบางส่วน



รูปที่ 2 ระบบบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ 3 ระบบควบคุมการทำงานด้วยพีแอลซี

ระบบบำบัดน้ำเสียถูกออกแบบให้เดินระบบโดยอัตโนมัติตลอด 24 ชั่วโมง ที่อัตรากำลังผลิต 1 ลบ.ม./วัน โดยการใช้พีแอลซีควบคุมการทำงาน ดังรูปที่ 3 มีการออกแบบเพื่อให้แต่ละส่วนมีฟังก์ชันการทำงานโดยควบคุมเวลา รายละเอียดของแต่ละหน่วยบำบัดโดยสรุป ดังนี้

2.2.1 ระบบตกตะกอน

เป็นถังทรงกระบอกทำจากวัสดุไฟเบอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 ซม. สูง 120 ซม. หนา 3 มม. มีความจุ 500 ลิตร ออกแบบให้ระยะเวลาที่เก็บน้ำในถังตกตะกอนเท่ากับ 5 ชั่วโมง

2.2.2 ระบบเอสบีอาร์

เป็นถังทรงกระบอกทำจากวัสดุไฟเบอร์ เช่นเดียวกับ 2.2.1 ควบคุมความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ MLSS อยู่ที่ 2,500-3,000 mg/L ถูกสั่งให้ทำงานแบบวัฏจักรใช้เวลาทั้งหมด 5 ชั่วโมงต่อ 1 รอบวัฏจักร และทำงานวันละ 3 รอบ กำหนดอัตราส่วนการเติมอากาศต่ออัตราส่วนการไม่เติมอากาศที่ 1:1

2.2.3 ระบบกรองทราย

เป็นถังทรงกระบอกทำจากวัสดุสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ซม. สูง 120 ซม. หนา 3 มม. ต่อแบบอนุกรมจำนวน 3 ถัง ใช้ทรายกรองธรรมชาติที่ผ่านการคัดขนาดให้อยู่ระหว่าง 1-2 มิลลิเมตร กำหนดอัตราการกรองที่ 40 ลิตร/นาที

2.2.4 ระบบเมมเบรน

เมมเบรนที่ใช้เป็นชนิดอัลตราฟิลเตรชันแบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber) วัสดุเมมเบรนชนิด PAN (Polyacrylonitrile) มีพื้นที่ผิว 2.03 ตร.ม. มีความละเอียด 0.01 ไมครอน กำหนดแรงดันน้ำใช้งานระหว่าง 1-3 บาร์ (100-300kPa)

2.3 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

การทดลองกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมด 6 จุด ดังรูปที่ 2 การเก็บตัวอย่างจะเป็นแบบจ้วง โดยจะเก็บใส่ภาชนะขวดพลาสติก (PE) ปริมาณ 2 ลิตรต่อหนึ่งตำแหน่ง จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียภายในห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม โดยพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่ตรวจวัดและวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัด ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์สำหรับตรวจวัดคุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
Temperature (°C)	ใช้เครื่องมือวัดค่าอุณหภูมิ (WTW รุ่น VARIO)
Turbidity (NTU)	ใช้เครื่องมือวัดค่าความขุ่น (WTW รุ่น Turb 430 IR)
TSS (mg/L)	APHA, AWWA & WEF (2012) Method 2540 C. Total Dissolved Solids Dried at 103-105 °C
TDS (mg/L)	APHA, AWWA & WEF (2012) Method 2540 D. Total Suspended Solid Dried at 103-105 °C
TS (mg/L)	APHA, AWWA & WEF (2012) Method 2540 B. Total Solid Dried at 103-105 °C
pH	ใช้เครื่องมือวัดค่าพีเอช (WTW รุ่น VARIO)
Conductivity (µS/cm)	ใช้เครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้า (Mettler Toledo รุ่น Seven Multi)
DO (mg/L)	ใช้เครื่องมือวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ (AZ รุ่น 8403)
BOD (mg/L)	ใช้เครื่องมือวัดค่าบีโอดี (WTW Oxitop® IS6)
COD (mg/L)	HACH Method 8000
DOC (mg/L)	APHA, AWWA & WEF (2012) Method 5910 B. Ultraviolet Absorption Method
NH ₃ -N (mg/L)	HACH Method 10031
NO ₂ -N (mg/L)	HACH Method 10019
NO ₃ -N (mg/L)	HACH Method 10020
PO ₄ -P (mg/L)	HACH Method 8048
TN (mg/L)	HACH Method 10071
TP (mg/L)	HACH Method 10127
Total Coliforms (CFU/ml)	APHA, AWWA & WEF (2012) Method 9215 C. Spread Plate Method

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำที่ชุมชนคลองบางเขนใหม่ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด

พารามิเตอร์	ค่าคุณภาพน้ำ
Temperature (°C)	31.1±1.0
Turbidity (NTU)	51.65±3.38
TSS (mg/L)	58.5±22.5
TDS (mg/L)	1,255±97.2
TS (mg/L)	1,492±98.3
pH	7.61±0.09
Conductivity (µS/cm)	1,859±77.40
DO (mg/L)	3.58±0.41
BOD (mg/L)	17.75±3.10
COD (mg/L)	20.95±3.12
TOC (mg/L)	5.65±0.18
NH ₃ -N (mg/L)	3.50±0.57
NO ₂ -N (mg/L)	0.1168±0.0241
NO ₃ -N (mg/L)	1.58±1.56
PO ₄ -P (mg/L)	0.26±0.02
TN (mg/L)	18.6±3.88
TP (mg/L)	2.9±1.15
Total Coliforms (CFU/ml)	7,875±3,763.31

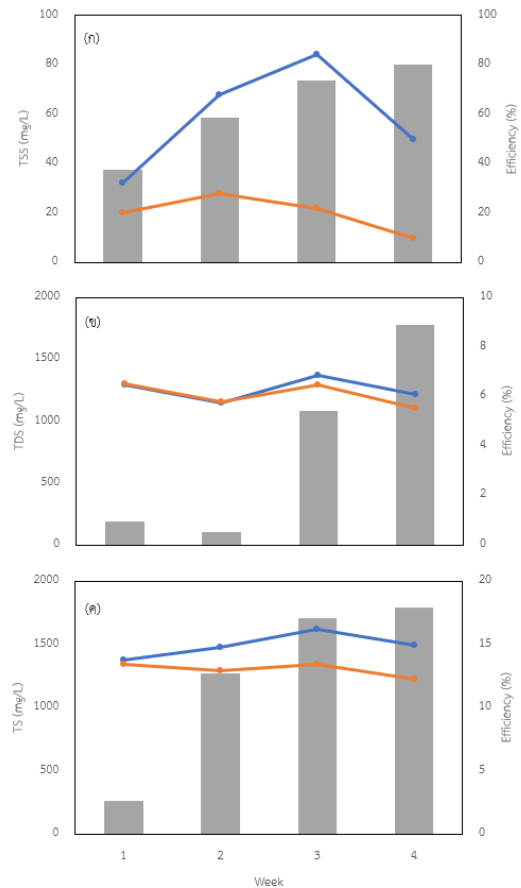
3. ผลการทดลอง

3.1 คุณภาพน้ำที่ชุมชนคลองบางเขนใหม่

น้ำที่ใช้สำหรับการนำมาบำบัดเป็นน้ำที่มาจากชุมชนบริเวณคลองบางเขนใหม่หน้าอาคารเรียน 42 ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พบว่า คุณภาพน้ำไม่อยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินของกรมควบคุมมลพิษ โดยคุณภาพน้ำก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด ดังแสดงในตารางที่ 2

3.2 การบำบัดด้วยถังตกตะกอน

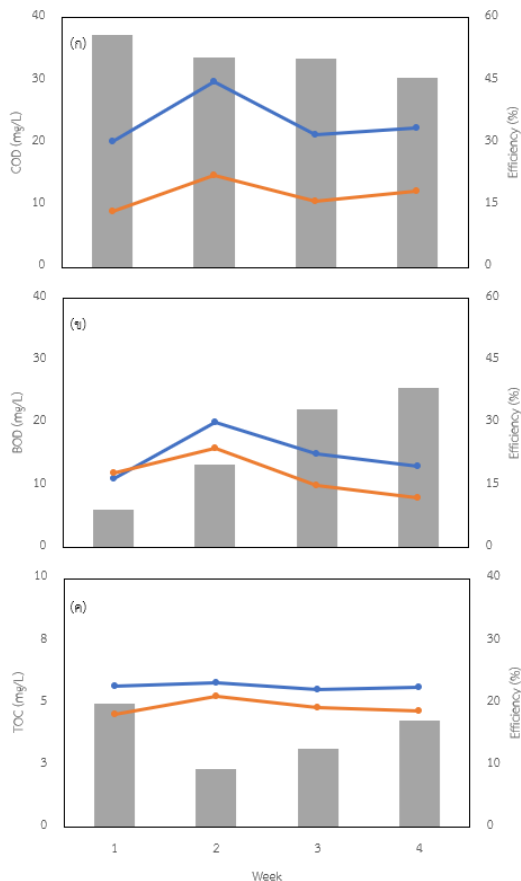
โดยทั่วไปถังตกตะกอนสามารถกำจัดของแข็งที่มีอนุภาคแขวนลอยขนาดใหญ่โดยการตกตะกอนลงสู่ก้นถัง แต่ของแข็งละลายน้ำจะไม่สามารถกำจัดได้ในถังตกตะกอน จากการทดลองนำน้ำที่ชุมชนคลองบางเขนใหม่มาบำบัดด้วยถังตกตะกอน ใช้ระยะเวลาในการกักเก็บเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดด้วยเอสปีอาร์ต่อไป พบว่าการกำจัดของแข็งแขวนลอยของแข็งละลายน้ำ และของแข็งทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัดของระบบตกตะกอน (ก) ของแข็งแขวนลอย (ข) ของแข็งละลายน้ำ (ค) ของแข็งทั้งหมด

รูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า น้ำที่ชุมชนคลองบางเขนใหม่ในช่วงเวลาดำเนินการวิจัยมีปริมาณของของแข็งแขวนลอยต่ำ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 32-84 mg/L และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 58.5±22.5 mg/L (n=4) ส่วนน้ำที่ออกจากถังตกตะกอนมีค่าอยู่ระหว่าง 10-28 mg/L และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 20±7.5 mg/L (n=4) ขณะที่ปริมาณของแข็งละลายน้ำเข้าสู่ระบบมีค่าสูง อยู่ระหว่าง 1,146-1,370 mg/L และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1,255±97.2 mg/L (n=4) ส่วนน้ำที่ออกจากถังตกตะกอนมีค่าอยู่ระหว่าง 1,104-1,304 mg/L และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1,214±101.3 mg/L (n=4) และปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำที่จากคลองบางเขนใหม่มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณของแข็งละลายน้ำ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1,376-1,616 mg/L และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1,492±98.3 mg/L (n=4) ส่วนน้ำที่ออกจากถังตกตะกอนมีค่าอยู่ระหว่าง 1,228-1,408 mg/L และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1,300±53.1 mg/L (n=4) เนื่องจากน้ำที่เข้าสู่ถังตกตะกอนมีปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำ และมีปริมาณของแข็งละลายน้ำสูง จึงทำให้ภาพรวมประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งในน้ำมีค่าต่ำ โดยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 12.9

ทั้งนี้ พารามิเตอร์คุณภาพน้ำอื่นๆ อาทิ สารอาหาร (สารประกอบไนโตรเจน และฟอสฟอรัส) สารอินทรีย์คาร์บอน (บีโอดี ซีโอดี และทีโอดี) และปริมาณโคลิฟอร์มในน้ำ พบว่า หน่วยบำบัดด้วยการตกตะกอนมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารดังกล่าวได้ต่ำ

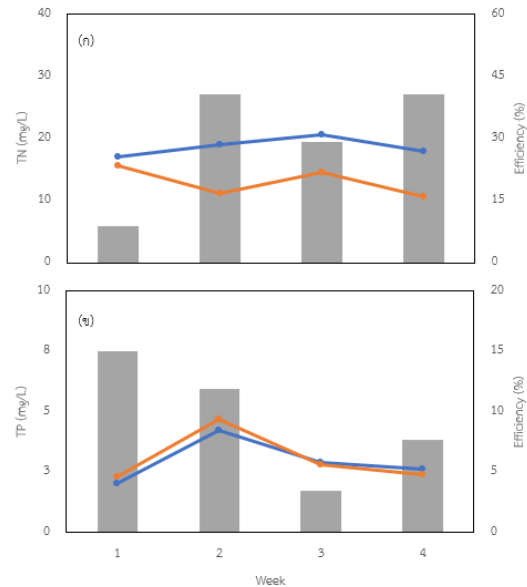


รูปที่ 5 สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งระยะเวลาภายในถังเอสปีอาร์ (น) ซีโอดี (ข) บีโอดี (ค) ทีโอดี

3.3 การบำบัดด้วยระบบเอสปีอาร์

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยถังตกตะกอน จะสามารถกำจัดมลพิษทางกายภาพได้บางส่วน แต่ไม่สามารถกำจัดมลพิษทางด้านเคมีและชีวภาพได้ ดังนั้น ระบบเอสปีอาร์จึงออกแบบเพื่อลดภาระสารอินทรีย์และสารอาหารต่างๆ ที่มีอยู่น้ำ รูปที่ 5 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี บีโอดี และทีโอดีในน้ำของระบบเอสปีอาร์

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า น้ำที่เข้าสู่ระบบเอสปีอาร์มีค่าซีโอดีค่อนข้างต่ำอยู่ระหว่าง 20.2-29.8 mg/L และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 23.43±4.34 mg/L (n=4) ขณะที่ค่าบีโอดีอยู่ระหว่าง 11-20 mg/L และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 14.75±3.86 mg/L (n=4) โดยสัดส่วนระหว่างค่าบีโอดีและซีโอดีอยู่ระหว่าง 14.75:23.43 และสารอินทรีย์ทั้งหมดในรูปทีโอดีอยู่ระหว่าง 5.53-5.80 mg/L และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.66±0.11 mg/L (n=4) อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบเอสปีอาร์สำหรับน้ำที่ชุมชนคลองบางเขนใหม่ (บีโอดี ซีโอดี และทีโอดี) พบว่ามีค่าไม่สูงมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากอัตราสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมีค่าต่ำ ประกอบกับสัดส่วนระหว่าง BOD:N ของน้ำมีค่าประมาณเท่ากับ 14.75:18.6 ซึ่งน้อยกว่าค่าแนะนำเท่ากับ 100:5 จากการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาที่ได้ออกมาไว้ในหัวข้อ 2.1 จึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี บีโอดี และทีโอดีได้น้อย

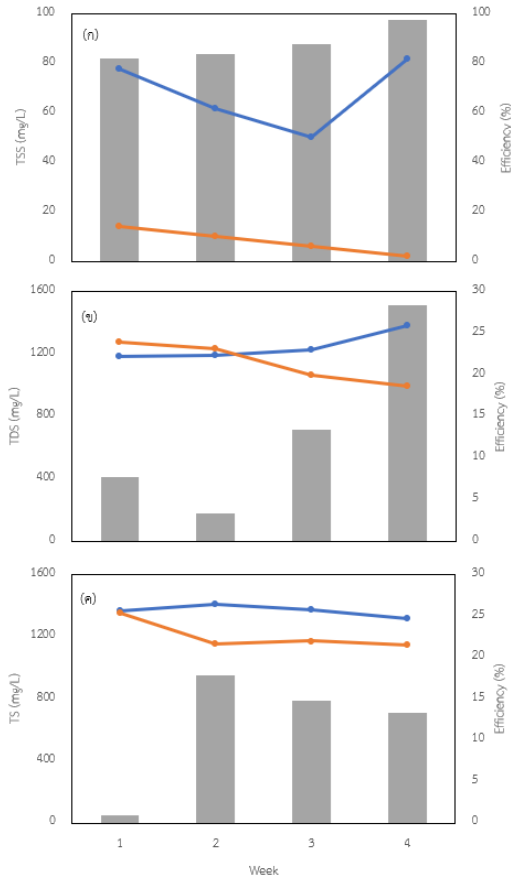


รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการกำจัดสารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วยระบบเอสปีอาร์

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า น้ำที่เข้าสู่ระบบเอสปีอาร์มีค่าไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 17.1-20.5 mg/L และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 18.6±1.45 mg/L (n=4) ขณะที่ค่าฟอสฟอรัสอยู่ระหว่าง 2.0-4.2mg/L และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.9±0.93 mg/L โดยสัดส่วนระหว่าง BOD:N:P ของน้ำมีค่าประมาณเท่ากับ 14.75:18.6:2 ซึ่งสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับระบบน้ำเสียชีวภาพแบบแอโรบิก คือ 100:5:1 แต่น้ำเสียในกรณีนี้มีค่าสัดส่วนดังกล่าวค่อนข้างต่ำ จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารต่ำด้วย

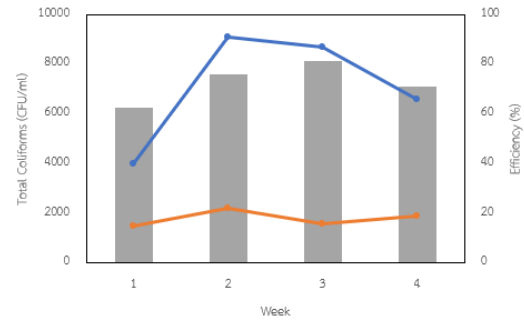
3.4 การบำบัดด้วยถังกรองทราย

น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยถังกรองทราย จะเข้าสู่ระบบบำบัดด้วยถังกรองทราย เพื่อกำจัดมลพิษทางกายภาพและชีวภาพที่หลุดออกมาจากระบบเอสปีอาร์ ดังแสดงในรูปที่ 7 และรูปที่ 8



รูปที่ 7 คุณภาพน้ำด้านกายภาพกับระยะเวลาของถังกรองทราย (ก) ของแข็งแขวนลอย (ข) ของแข็งละลายน้ำ (ค) ของแข็งทั้งหมด

รูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่า น้ำที่เข้าสู่ถังกรองทรายมีปริมาณของของแข็งแขวนลอยต่ำ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 50-82 mg/L และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 68 ± 14.8 mg/L (n=4) ส่วนน้ำที่ออกจากถังกรองทรายมีค่าอยู่ระหว่าง 2-14 mg/L และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8 ± 5.16 mg/L (n=4) ขณะที่ปริมาณของแข็งละลายน้ำเข้าสู่ระบบมีค่าสูง อยู่ระหว่าง 1,184-1,384 mg/L และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $1,247 \pm 93.3$ mg/L (n=4) ส่วนน้ำที่ออกจากถังกรองทรายมีค่าอยู่ระหว่าง 992-1,276 mg/L และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $1,141 \pm 135$ mg/L (n=4) และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เข้าสู่ถังกรองทรายมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณของแข็งละลายน้ำ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1,320-1,408 mg/L และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $1,368 \pm 36.37$ mg/L (n=4) ส่วนน้ำที่ออกจากถังกรองทรายมีค่าอยู่ระหว่าง 1,144-1,356 mg/L และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $1,207 \pm 100$ mg/L (n=4) เนื่องจากน้ำที่เข้าสู่ถังกรองทรายมีปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำ และมีปริมาณของแข็งละลายน้ำสูง จึงทำให้ภาพรวมประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งในน้ำมีค่าต่ำ โดยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 87.9



รูปที่ 8 คุณภาพน้ำด้านชีวภาพกับระยะเวลาของถังกรองทราย

รูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์โคลิฟอร์มทั้งหมดในน้ำก่อนและหลังบำบัดด้วยถังกรองทรายมีค่าอยู่ระหว่าง 4,000-9,100 CFU/ml และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $7,100 \pm 2,339.52$ CFU/ml (n=4) ส่วนน้ำที่ออกจากระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 1,500-2,200 CFU/ml และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $1,800 \pm 316.23$ CFU/ml (n=4) จากการทดลองพบว่า น้ำที่เข้าและออกจากถังกรองทรายมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟอร์มทั้งหมดในน้ำอยู่ระหว่างร้อยละ 63-82

3.5 การบำบัดด้วยระบบเมมเบรน

น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยถังกรองทราย จะเข้าสู่ระบบบำบัดเมมเบรน เพื่อกำจัดมลพิษทางกายภาพ ทางเคมี และชีวภาพ เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบสามารถนำไปใช้ประโยชน์ โดยคุณภาพน้ำก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดและหลังการบำบัดด้วยเมมเบรน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัด

พารามิเตอร์	น้ำเข้าสู่ระบบ	น้ำออกจากระบบ	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
Temperature (°C)	31.1±1.0	29±0.51	none
Turbidity (NTU)	51.65±3.38	0.12±0.03	99.8
TSS (mg/L)	58.5±22.5	1.5±1.91	97.4
TDS (mg/L)	1,255±97.2	185±66.8	85.3
TS (mg/L)	1,492±98.3	180±11.78	87.9
pH	7.61±0.09	7.18±0.1	none
Conductivity (µS/cm)	1,859±77.40	455±163.84	none
DO (mg/L)	3.58±0.41	5.51±0.34	none
BOD (mg/L)	17.75±3.10	6±2.45	51.9
COD (mg/L)	20.95±3.12	10.1±1.98	66.2
TOC (mg/L)	5.65±0.18	3.9±0.26	31.0
NH ₃ -N (mg/L)	3.50±0.57	1.33±0.35	62.9
NO ₂ -N (mg/L)	0.1168±0.0241	0.0194±0.0066	83.4
NO ₃ -N (mg/L)	1.58±1.56	0.63±0.26	60.3
PO ₄ -P (mg/L)	0.26±0.02	0.35±0.15	34.6
TN (mg/L)	18.6±3.88	3.8±1.83	79.7
TP (mg/L)	2.9±1.15	0.2±0.17	94.7
Total Coliforms (CFU/ml)	7,875±3,763	75±95.74	99.0

ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าระบบกรองด้วยเมมเบรน ซึ่งต่ออนุกรมกับระบบเอสบีอาร์และถังกรองทราย สามารถกำจัดมลพิษที่หลงเหลือในน้ำ โดยเฉพาะในรูปสารละลายน้ำ อาทิ สารอินทรีย์ในรูปบีโอดี ซีโอดีและทีโอดี มีค่าประสิทธิภาพการกำจัดสารดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 51.9, 66.2 และ 31 ตามลำดับ สารอาหารในรูปไนโตรเจน และฟอสฟอรัส มีค่าประสิทธิภาพในการบำบัดคิดเป็นร้อยละ 79.7 และ 94.7 ตามลำดับ และปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดมีประสิทธิภาพในการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 99 และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ของ U.S. EPA พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเป็นไปตามมาตรฐานการนำกลับมาใช้ใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 4

3.6 เปรียบเทียบกับมาตรฐาน U.S. EPA สำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่

ตารางที่ 4 น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเปรียบเทียบกับมาตรฐาน U.S. EPA

พารามิเตอร์	มาตรฐาน U.S. EPA	คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว	ผลการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน
BOD (mg/L)	5-30	6 ±2.4	ผ่าน
TSS (mg/L)	5-30	1.5 ±1.9	ผ่าน
Turbidity (NTU)	2-5	0.12 ±0.02	ผ่าน
pH	6-9	7.18 ±0.1	ผ่าน
Total Coliform (CFU/ml)	2-200	75 ±95.7(ND)	ผ่าน
Cl Residual (mg/L)	≤1	≤1	ผ่าน

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บ คือค่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์โคลิฟอร์มทั้งหมดด้วยขบวนการ Chlorination ด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ที่ความเข้มข้นควบคุมในน้ำเท่ากับ 1.5 mg/L โดย ND คือตรวจไม่พบ Colony ใดๆ

ตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเทียบกับมาตรฐาน U.S. EPA สำหรับ Urban Reuse พบว่าคุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเป็นไปตามมาตรฐาน สามารถนำมาใช้ในกิจกรรมการใช้น้ำที่ไม่สัมผัสโดยตรง เช่น ชำระโลหุภัณฑ์ และรดน้ำต้นไม้

3.7 การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่

คุณภาพน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นที่สอง หรือระบบกรองทรายแล้ว ตามมาตรฐาน U.S. EPA สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ อาทิ รดน้ำต้นไม้ และล้างลานกิจกรรม



รูปที่ 9 การนำน้ำมาใช้สำหรับรดน้ำต้นไม้

รูปที่ 9 ทดลองติดตั้งระบบส่งจ่ายน้ำสำหรับรดน้ำต้นไม้บริเวณรอบอาคาร 42 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โดยมีระบบควบคุมการทำงานรดน้ำแบบอัตโนมัติ (Smart Control Devices)

คุณภาพน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นที่สาม หรือระบบเมมเบรนแล้ว ตามมาตรฐาน U.S. EPA สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อาทิ ชำระล้างสุขภัณฑ์



รูปที่ 10 การนำน้ำมาใช้สำหรับโถปัสสาวะชาย

รูปที่ 10 ทดลองติดตั้งระบบส่งจ่ายน้ำสำหรับอาคาร 42 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โดยระบบการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่มีการเดินท่อส่งน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้สำหรับสุขภัณฑ์ห้องน้ำ อาทิ โถปัสสาวะชาย โดยติดตั้งแยกจากระบบประปาเดิม

4. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาและพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำเสียเอสบีอาร์ที่สามารถทำงานร่วมกับระบบกรองให้ทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ ควบคุมการทำงานด้วยพีแอลซี เพื่อบำบัดน้ำทิ้งจากคลองบางเขนใหม่ มีกำลังการผลิตน้ำ 1 ลบ.ม.ต่อวัน โดยผลสรุปการวิจัย ดังนี้ ถึงตกตะกอนมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายน้ำ และของแข็งทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 65.8, 3.26 และ 12.86 ตามลำดับ ซึ่งถึงตกตะกอนไม่สามารถกำจัดของแข็งละลายน้ำได้จึงทำให้ของแข็งทั้งหมดสูงตามไปด้วย นอกจากนี้ มลพิษด้านเคมีและชีวภาพที่พิจารณายังไม่สามารถกำจัดได้ในถังตกตะกอน ส่วนคุณภาพน้ำที่บำบัดแล้วด้วยระบบเอสบีอาร์ทางกายภาพมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นร้อยละ 59.1 แต่ไม่สามารถกำจัดของแข็งในน้ำได้ และยังพบว่ามีปริมาณของแข็งต่างๆ เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำที่ออกจากระบบบำบัดนั้นอาจมีตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกมาพร้อมกับน้ำช่วงการถ่ายน้ำออกทำให้ค่าของแข็งแขวนลอยสูงขึ้น ส่วนคุณภาพน้ำทางเคมี พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัด บีโอดี ซีโอดี และไนโตรเจนทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 92.9, 20 และ 30.2 ตามลำดับ แต่ไม่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ ถึงกรองทรายมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายน้ำ และของแข็งทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 88.2, 8.5 และ 11.76 ตามลำดับ ซึ่งถึงกรองทรายไม่สามารถกำจัดของแข็งละลายน้ำได้จึงทำให้ของแข็งทั้งหมดสูงตามไปด้วย และเชื้อจุลินทรีย์โคลิฟอร์มทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 74.6 ระบบเมมเบรนมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลพิษทางกายภาพ ทางเคมี และทาง

ชีวภาพได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะในรูปสารละลายน้ำซึ่งประสิทธิภาพโดยรวมของระบบบำบัดน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีศักยภาพในการนำกลับมาใช้รดน้ำต้นไม้ และใช้สำหรับกิจกรรมการใช้น้ำที่ไม่สัมผัสโดยตรงภายในอาคารได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จากทุนวิจัยของภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้ออกทุนเพื่อการศึกษาได้ให้สถานที่ในการปฏิบัติงาน อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการศึกษาวิจัย และขอขอบคุณสำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานครที่อนุเคราะห์ให้อุปกรณ์สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.เจนจิต เอี่ยมจตุรภัทร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ท่านได้กรุณาที่ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นตรวจสอบมาโดยตลอด และขอขอบคุณ นางสาวธนิดา วัชรมัย เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ที่คอยชี้แนะขั้นตอนรวมถึงการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ ขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อมที่คอยช่วยเหลือและให้คำชี้แนะ สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการพัฒนาต่อยอดความรู้ เพื่อนำความรู้ไปพัฒนางานวิจัยเพื่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] APHA, AWWA & WEF (2012). Standard Method for The Examination of Water and Waster (22th Eds.). Published by American Public Health Association American Water Works Association Water Environment Federation.
- [2] Guidelines for Water Reuse (2004). United States Environmental Protection Agency, Washington DC.
- [3] Metcalf and Eddy (2003). Wastewater Engineering Treatment and Reuse (4thEds.). McGraw-Hill Companies, Inc., New York.
- [4] ณัฐภัทร เที้ยธิทรัพย์ และ ธเนศ แสงสุดตา (2559). การนำน้ำที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียเอสปีอาร์ร่วมกับระบบกรองไปใช้ประโยชน์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [5] กรมควบคุมมลพิษและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2546). สรุปเกณฑ์แนะนำการออกแบบระบบรวบรวมน้ำเสียและโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำของชุมชน (พิมพ์ครั้งที่1). สำนักพิมพ์สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร, หน้า 85-87.
- [6] รักชนก เครือบุตร (2541). การศึกษาความสามารถสูงสุดของระบบเอสปีอาร์ในการรับภาระบรรทุกและฟื้นคืนสภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจากน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล.