การบำบัดน้ำชะขยะโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนและระบบรีเวอร์สออสโมซิส

Treatment of Landfill Leachates using a Membrane Bioreactor and Reverse Osmosis

ปฐมพงษ์ ชำนาญเนติวิทย์* และ จักรกฤษณ์ อัมพุช
Patompong Chamnannetivit* and Chakkrit Umpuch

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
Environmental Engineering Program, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University
*E-mail: patompong.ch.64@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยชุมชนในหลุมฝังกลบแห่งหนึ่งในจังหวัดมุกดาหารซึ่งมีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพต่ำโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนอัลตราฟิวเตรชันร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส โดยประเมินคุณภาพของออกจากระบบเมมเบรนหรือน้ำเพอมิเอทด้วยพารามิเตอร์ 4 ชนิด ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่าง ค่าพีเอช บีโอดี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอยทั้งหมด เปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรก การบำบัดด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันใช้สารทีพีไอไบโอแซนเป็นหัวเชื้อในการบำบัดน้ำเสียพบว่า ค่าความเป็นกรดด่างมีค่าเท่ากับ 8.76 ร้อยละการกำจัดสูงที่สุดของบีโอดี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอยทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 78.57, 34.87 และ 30.82 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามคุณภาพน้ำเพอมิเอทยังไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดซึ่งจะต้องทำการบำบัดต่อ การทดลองส่วนที่ 2 นำน้ำเพอมีเอทจากการทดลองแรกมาบำบัดต่อด้วยเมมเบรนรีเวอร์สออสโมซิส พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ได้เพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 97 คุณภาพน้ำทิ้งที่ได้เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด นอกจากนี้ผลของความดันผ่านเมมเบรนมีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่ค่า ฟลักซ์การไหลของน้ำผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากสารแขวนลอยที่เพิ่มมากขึ้นเข้าไปอุดตันภายในรูพรุนของเมมเบรน ยิ่งมีการเพิ่มระยะเวลาในทำความสะอาดโดยการฉีดล้างภายนอก และล้างย้อนเมมเบรนด้วยน้ำปราศจากไอออนและแช่ด้วยสารเคมีจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบเมมเบรนดีมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: น้ำชะขยะ ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน อัลตราฟิวเตรชัน รีเวอร์สออสโมซิส

Abstract

This research aims to treat the leachate obtained from a municipal landfill in Mukdahan province, which has a low biological decomposition rate, by an ultrafiltration membrane bioreactor together with reverse osmosis system. Only four parameters, such as pH, Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Suspended Solids (TSS) were determined to evaluate the effluent quality. Comparing to the standards of wastewater discharge from landfills set by the sanitary control. The experiments were divided into two parts. Firstly, the ultrafiltration (UF) membrane bioreactor with TPI Biosan as inoculum was used for treating the leachate. It was found that the highest removal percentages of BOD, COD, and TSS were 78.57, 70.23, and 60.90, respectively. However, the permeate quality needs to meet the regulations. Further treatment was necessary and done by treating the permeate from the first

experiment in a membrane reverse osmosis (RO) system. The results were revealed that the removal percentages of all 3 parameters were increased more than 97%. The treated water quality could meet the legal regulation standards. In addition, the effect of transmembrane pressure (TMP) increased as water flux decreased due to more TSS clogging in membrane pores. The more increasing time for membrane cleaning by deionized water and chemicals both external flushing and backwashing, the higher membrane efficiency was obtained.

Keywords: Leachate, Membrane Bioreactor, Ultrafiltration (UF), Reverse Osmosis (RO)

บทนำ

ปัญหาน้ำชะขยะ (Leachate) ซึ่งเป็นของเหลวที่ไหลซึมออกมาจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยที่เกิดจากความชื้นของมูลฝอยหรือน้ำฝนที่สัมผัสกับมูลฝอยแล้วเกิดการไหลชะล้าง และซึมออกมาตามแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งอาจมีตะกอนละเอียดปะปนมาด้วย น้ำชะขยะมูลฝอยมักมีความสกปรกสูง บางครั้งอาจปนเปื้อนโลหะหนักและสารที่เป็นพิษที่มีอยู่ในมูลฝอยทั่วไปหากมีการระบายออกโดยไม่ได้รับการบำบัดให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนต่อดิน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน (ทวีชัย, 2565) โดยคุณภาพน้ำชะขยะจะแปรผันไปตามปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิดของเสีย การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล สภาพแวดล้อมของหลุมฝังกลบ เทคนิคในการฝังกลบ และความสามารถในการย่อยสลาย (บุญชัย, 2547) ซึ่งในระหว่างการฝังกลบจะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพอย่างต่อเนื่อง (Biodegradation) ทำให้เหลือแต่สารที่ทนต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ (Bodzek, 2006) หลุมฝังกลบที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 5 ปี จะมีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพจะอยู่ในระดับต่ำ การบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยด้วยระบบตะกอนเร่งแบบเดิม จึงไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงในระยะเวลาสั้น โดยทั่วไปถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ การย่อยสลายทางชีวภาพของสารประกอบอินทรีย์ และการแยกน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากจุลินทรีย์รวมทั้งกากตะกอนชีวภาพด้วยการกรองผ่านเมมเบรน ซึ่งไม่จำเป็นต้องตกตะกอน แต่อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบที่มีอายุมากซึ่งจะมีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพอยู่ในระดับต่ำด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนเพียงอย่างเดียว อาจจะมีประสิทธิภาพการบำบัดไม่เพียงพอ การนำกระบวนการเมมเบรนรีเวอร์สออสโมซีส (Reverse Osmosis: RO) มาใช้ร่วมด้วยจึงเป็นแนวทางที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบและทำให้ได้น้ำทิ้งที่มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด

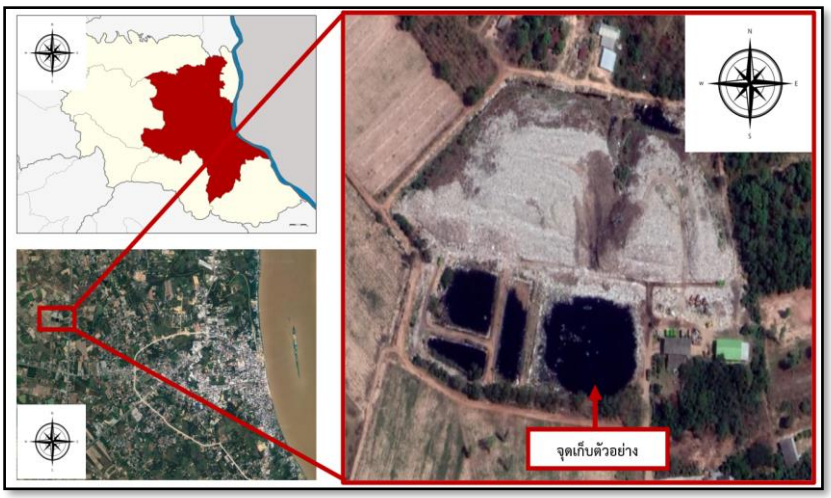
วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนในการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยชุมชนจากสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนแห่งหนึ่งในจังหวัดมุกดาหาร (ดังแสดงในภาพที่ 1) ซึ่งมีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพอยู่ในระดับต่ำ โดยใช้แบบจำลองในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบจากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำชะขยะก่อนและหลังจากที่ผ่านการบำบัดแล้ว โดยอ้างอิงมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล พ.ศ. 2565 ได้แก่ ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: BOD) และของแข็งแขวนลอย

ทั้งหมด (Total Suspended Solids: TSS)ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเก็บรวบรวมจากบ่อบำบัดน้ำเสียในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 จากสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนแห่งหนึ่งในจังหวัดมุกดาหาร ดังภาพที่ 1

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

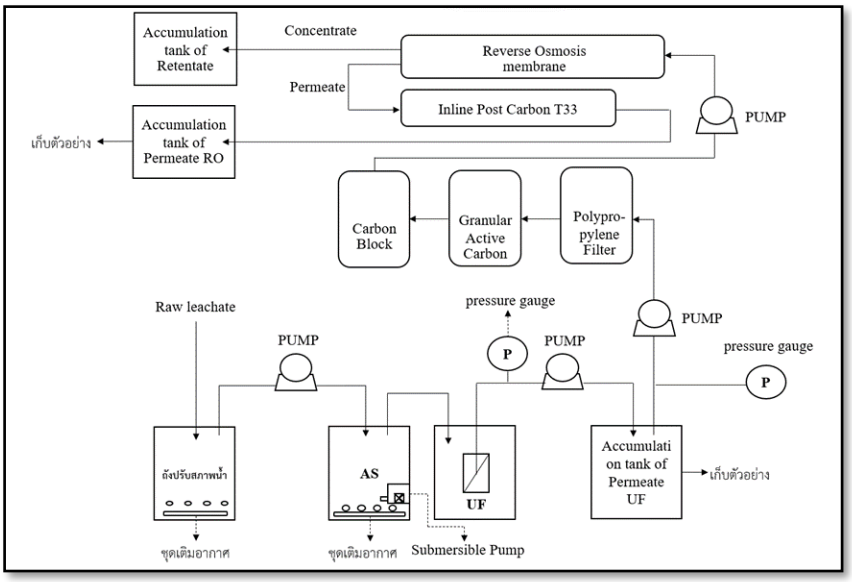
ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนประกอบด้วย 1) ถังปรับสภาพน้ำขนาด 5 ลิตรและเครื่องเติมอากาศ ทำหน้าที่ปรับสภาพน้ำและเติมอากาศเป็นเวลา 48 ชั่วโมง 2) ถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 10 ลิตร ใช้ปั๊มสูบน้ำแบบรีดสูบน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ใช้เครื่องเติมอากาศและเครื่องกวน เมมเบรนแบบอัลตราฟิวเตรชัน (Ultrafiltration: UF) ที่มีขนาดรูพรุน 0.1 µm ใช้ไดอะแฟรมปั๊มในชุดกรองอัลตราฟิวเตรชัน ใช้สารชีวภัณฑ์ไบโอซาน (Biosan) ซึ่งผลิตโดยบริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ระยะเวลาในการเดินระบบ 12 วัน โดยกำหนดสภาวะการเดินระบบ ดังตารางที่ 1 เก็บตัวอย่างน้ำเพอมีเอทที่ผ่านการกรองด้วยอัลตราฟิลเตรชันไปทำการตรวจวิเคราะห์ ส่วนน้ำเพอมีเอทที่เหลือจะนำมาบำบัดต่อด้วยชุดกรองเมมเบนชนิดรีเวอร์สออสโมซีส (RO) ประเภทท่อม้วน (Spiral wound membrane) มีขนาดรูพรุนน้อยกว่า 1 นาโนเมตร โดยใช้ไดอะแฟรมปั๊มสูบน้ำเพอมีเอทเข้าชุดกรองรีเวอร์สออสโมซีส เก็บตัวอย่างน้ำเพอมีเอทที่ผ่านการกรองด้วยชุดกรองรีเวอร์สออสโมซีสไปทำการตรวจวิเคราะห์ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนแห่งหนึ่งในจังหวัดมุกดาหาร

ตารางที่ 1 สภาวะการทำงานของถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนอัลตราฟิวเตรชัน

สภาวะที่กำหนด	รายละเอียด
อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ (ลิตร/วัน)	2.5
ตั้งเวลาเติมน้ำเสียอัตโนมัติทุก 3 ชั่วโมง จนครบ 2.5 ลิตรทั้งหมด 8 ครั้ง/วัน ที่อัตราการไหล (ลิตร/ชั่วโมง)	0.315
ระยะเวลาเก็บกักไฮดรอลิค (HRT) (ชั่วโมง)	96
อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (กิโลกรัม COD/กิโลกรัม MLSS/วัน)	0.4
ค่าความเป็นกรดด่าง pH	6.5 - 8.5
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	20 - 35
ระยะเวลาการเติมอากาศ (เติม/หยุด) (ชั่วโมง)	2/1
อัตราการไหลอากาศ (ลิตร/นาที)	5
ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไม่น้อยกว่า 2
ค่าความดันส่งผ่านสูงสุด (TMP limitation) (บาร์)	0.5
ความสามารถในการกักกันสาร (MW cut-off) (กิโลดาลตัน)	100 - 150
อายุสลัดจ์ (STR) (วัน)	ไม่มีการถ่ายสลัดจ์



ภาพที่ 2 แบบจำลองระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนอัลตราฟิวเตรชัน (UF) และชุดเมมเบรนรีเวอร์สออสโมซิส (RO)

ผลการวิจัย

คุณภาพน้ำชะขยะมูลฝอยชุมชน

คุณภาพน้ำชะขยะมูลฝอยชุมชน จากบ่อบำบัดน้ำเสียของสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนแห่งหนึ่งในจังหวัดมุกดาหาร พบว่ามีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 8.24 ซึ่งมีลักษณะเป็นด่างอ่อน เกิดจากในระหว่างการฝังกลบขยะมูลฝอยมีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะหลุมฝังกลบที่มีอายุมาก น้ำชะขยะมูลฝอยจะกลายเป็นด่างเนื่องจากการลดลงของความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid: VFA) ที่แตกตัวเป็นไอออน และถูกแบคทีเรียที่ผลิตแก๊สมีเทนใช้หมดไป (Lindamullaet et al., 2022) ค่าออกซิเจนละลายในน้ำมีค่าเท่ากับ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดีมีค่าเท่ากับ 630 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี มีค่าเท่ากับ 3,900 มิลลิกรัมต่อลิตร และของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 133 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียของสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนไม่สามารถใช้งานได้ ประกอบกับสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยแห่งนี้มีอายุมากกว่า 10 ปี อัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดี (BOD/COD) เท่ากับ 0.16 อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพอยู่ในระดับต่ำ เหลือแต่สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำชะขยะมูลฝอยชุมชน (Raw leachate characteristic)

พารามิเตอร์	ผลการตรวจวิเคราะห์	ค่ามาตรฐาน
pH	8.24	5.5 - 9
DO (mg/L)	0	–
BOD (mg/L)	630	ไม่เกิน 30
COD (mg/L)	3,900	ไม่เกิน 400
TSS (mg/L)	133	ไม่เกิน 50

ผลการศึกษาการบำบัดน้ำชะขยะด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนอัลตราฟิวเตรชัน

ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ BOD ในน้ำเพอมีเอทพบว่า BOD มีค่าลดลงเหลืออยู่ 135 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 78.57 COD มีค่าลดลงเหลือ 2,540 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 34.87 และของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีค่าลดลงเหลืออยู่ 92 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 30.82 จากการศึกษาของ Roy et.al. (2020) พบว่าน้ำชะขยะหลังบำบัดด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนแล้ว COD ที่ไม่สามารถบำบัดได้มีการกระจายตัวของสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 100 kDa เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ทนต่อการย่อยสลาย ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารที่ไม่ชอบน้ำและเป็นกลางที่มีลักษณะคล้ายกรดฮิวมิกและฟุลวิค มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ1.5 kDa โดยงานวิจัยนี้ใช้เมมเบรนอัลตราฟิวเตรชัน (Ultrafiltration) ที่มีความสามารถในการกักกันสาร (MW cut-off) ได้เพียง 100-150 kDa การบำบัดน้ำชะขยะที่มีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพอยู่ในระดับต่ำจะประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากและมีน้ำหนักโมเลกุลที่น้อยกว่าความสามารถในการกักกันสารของเมมเบรนอัลตราฟิวเตรชัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียทำงานได้ไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นการบบัดน้ำชะขยะด้วยวิธีการทางชีวภาพโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนอัลตราฟิวเตรชัน ไม่สามารถบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยชุมชนให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่กฎหมายกำหนดได้ ดังตารางที่ 3

ผลการนำเพอมีเอทที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเมมเบรน UF มาบำบัดต่อด้วยระบบเมมเบรน RO

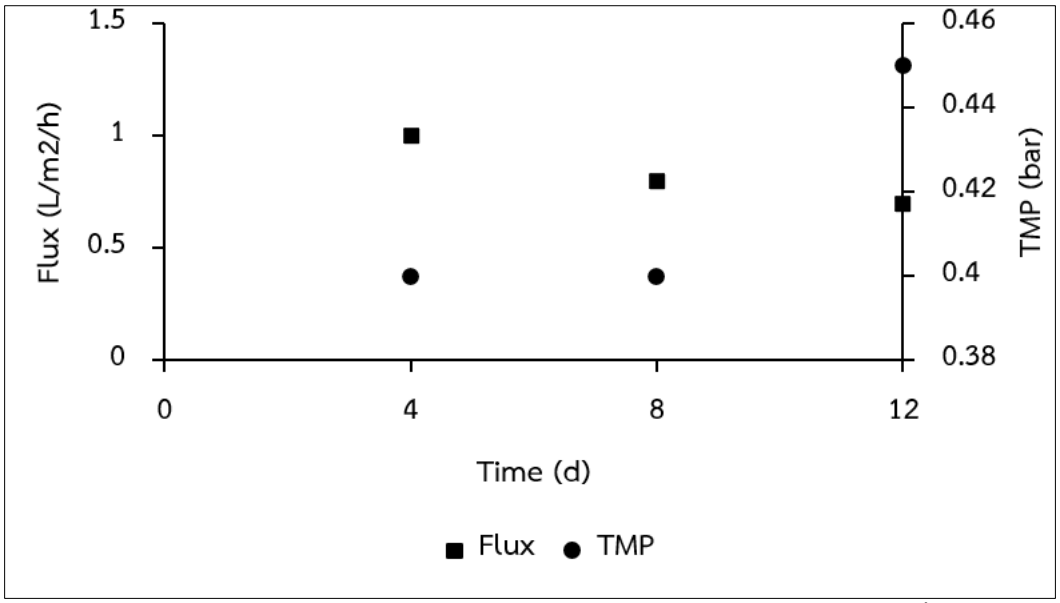
การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยนำน้ำเพอมีเอทที่ผ่านการบำบัดด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน UF มาทำการบำบัดต่อด้วยชุดกรองเมมเบรน RO ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำพบว่า ความเป็นกรดด่าง มีค่าเท่ากับ 7.5, บีโอดี มีค่าเท่ากับ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร, ซีโอดี มีค่าเท่ากับ 48.38 มิลลิกรัมต่อลิตร และของแข็งแขวนลอยทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการบำบัดมากกว่าร้อยละ 97 และทำให้คุณภาพน้ำเพอมีเอทหลังจากผ่านการกรองด้วยชุดกรองเมมเบรน RO ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยชุมชนอย่างถูกหลักสุขาภิบาลตามที่กฎหมายกำหนดได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tałałaj et al. (2019) เมื่อบำบัดน้ำชะขยะด้วยกระบวนการทางชีวภาพและบำบัดต่อด้วยการกรองรีเวอร์สออสโมซิส พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดส่วนใหญ่มากกว่าร้อยละ 90 ถึงแม้ว่าน้ำชะขยะจะมีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพอยู่ในระดับต่ำ (BOD/COD เท่ากับ 0.06) และงานวิจัยของ Elfilalia et al. (2021) รายงานว่าการบำบัดน้ำชะขยะที่มีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพอยู่ในระดับต่ำ (BOD/COD เท่ากับ 0.17) ด้วยวิธีแบบไฮบริดระหว่างถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนและการกรองเมมเบรน RO พบว่า เมื่อบำบัดต่อด้วยการกรอง RO ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 95 และสามารถทำให้น้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพที่ประเทศกำหนดได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยชุมชนด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน UF และบำบัดต่อด้วยการกรองเมมเบรน RO สามารถบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยชุมชนให้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนดได้ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการนำน้ำเพอมีเอทที่ผ่านการบำบัดด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน UF มาบำบัดต่อด้วยเมมเบรน RO

พารามิเตอร์	ก่อนบำบัด	หลังบำบัดด้วย MBR มิลลิกรัมต่อลิตร	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)	หลังบำบัดด้วย RO มิลลิกรัมต่อลิตร	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)	ค่ามาตรฐาน
pH	8.24	8.76	-	7.5	-	5.5 - 9
BOD	630	135	78.57	3	99.52	ไม่เกิน 20
COD	3,900	2,540	34.87	48.38	98.76	ไม่เกิน 400
TSS	133	92	30.82	4	96.99	ไม่เกิน 50

ผลของค่าความดันส่งผ่านเมมเบรน และค่าฟลักซ์การไหลผ่านเมมเบรน UF

ค่าความดันส่งผ่านเมมเบรน (Trans membrane pressure) มีเพิ่มขึ้นจาก 0.4 บาร์ เป็น 0.45 บาร์ และค่าฟลักซ์การไหลของน้ำผ่านเมมเบรนลดลงจาก 1 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง เหลือ 0.7 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ความดันที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากสารแขวนลอยที่เพิ่มมากขึ้นซึ่งเข้าไปอุดตันภายในรูพรุนของเมมเบรนแม้จะมีการฉีดล้างภายนอกและล้างย้อน (Backwash) ด้วยน้ำปราศจากไอออนทุก ๆ 1 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระยะเวลากับค่าความดันส่งผ่านเมมเบรน (dP/dt) พบว่า อัตราการเกิดการอุดตันของเมมเบรนอัลตราฟิวเตรชันเท่ากับ 0.0125 บาร์/วัน การอุดตันของเมมเบรนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว สาเหตุเกิดจากสารแขวนลอย (Biological flocs) ที่เพิ่มจำนวนมากขึ้น (Elfilalia et al., 2021) และระยะเวลาที่ตะกอนอยู่ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (Solids Retention Time: SRT) โดยไม่มีการกำจัดออก จะเพิ่มการอุดตันของเมมเบรนจากการสะสมของปริมาณสารแขวนลอย (MLSS) และความหนืดของตะกอน (Sludge viscosity) (Iorhemen et al., 2016) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับความดันผ่านเมมเบรน (TMP) และค่าฟลักซ์การไหลของน้ำผ่านเมมเบรน UF

ความต้านทานการไหลผ่านเมมเบรนอัลตราฟิวเตรชัน

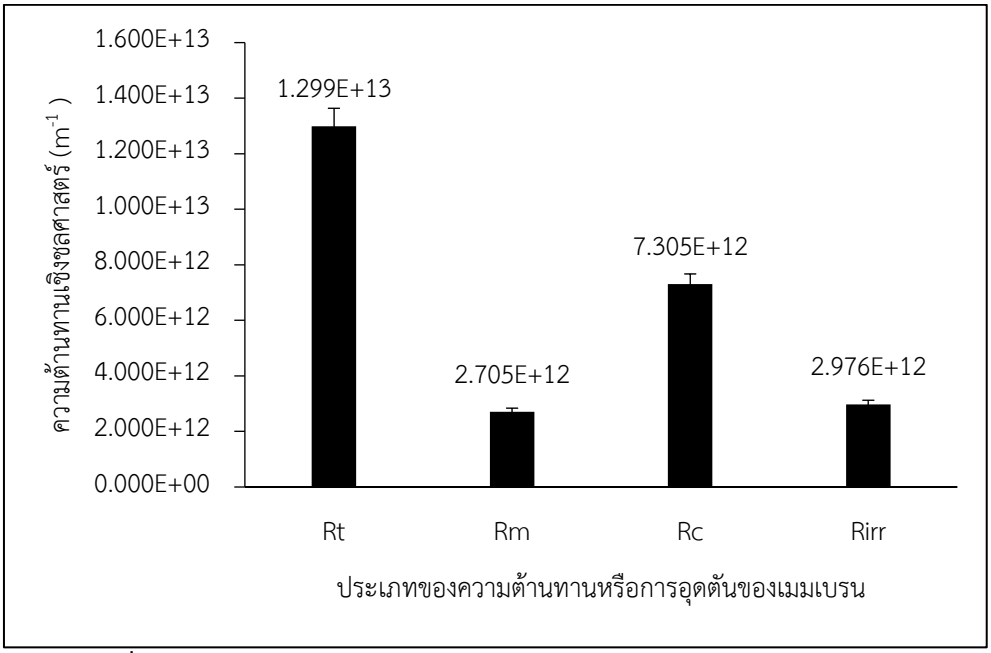
ผลการทดสอบหาความต้านทานเชิงชลศาสตร์รวมของเมมเบรน (R_t) พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.2986×10^{12} ต่อหนึ่งเมตร โดยแบ่งออกเป็น

1. ความต้านทานเชิงชลศาสตร์ของเมมเบรนสะอาด (R_m) เป็นค่าความต้านทานของเมมเบรนที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (Deionized water: DI) กรองผ่านเมมเบรน พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.70502×10^{12} ต่อหนึ่งเมตร

2. ความต้านทานจากการเกิดชั้นเค้ก (Cake layer resistance) บนผิวหน้าของเมมเบรน ซึ่งเป็นการอุดตันแบบฟื้นสภาพได้หรือผันกลับได้ (Reversible fouling: Rc) ซึ่งต้องใช้วิธีทางไฮโดรไดนามิกส์ในการฟื้นสภาพเมมเบรน ด้วยการฉีดล้างภายนอกเมมเบรนและล้างย้อนด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI) หลังทำความสะอาดพบว่ามีค่าเท่ากับ 7.30503×10^{12} ต่อหนึ่งเมตร สามารถฟื้นสภาพเมมเบรนได้ร้อยละ 55.26

3. ความต้านทานจากการเกิดการดูดซับและอุดตันภายในรูพรุนของเมมเบรน (Pore clogging resistance) ซึ่งเป็นการอุดตันแบบฟื้นสภาพไม่ได้หรือผันกลับไม่ได้ (Irreversible fouling: R_{irr}) ซึ่งต้องใช้สารเคมีในการทำความสะอาดเมมเบรนเพื่อฟื้นสภาพ โดยทำการล้างเมมเบรนด้วยการแช่ในสารเคมีประกอบด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยปริมาตร ไฮโปรคลอไรด์ (NaClO) ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 โดยปริมาตร หลังทำความสะอาดพบว่าค่าความต้านทานมีค่าเท่ากับ 2.97592×10^{12} ต่อหนึ่งเมตร สามารถฟื้นสภาพเมมเบรนได้ร้อยละ 97.37

การอุดตันของเมมเบรนอัลตราฟิวเตรชันส่วนใหญ่เกิดการอุดตันจากการเกิดชั้นเค้กบนผิวหน้าของเมมเบรน คิดเป็นร้อยละ 55.26 และมีการอุดตันจากการดูดซับภายในรูพรุนของเมมเบรนคิดเป็นร้อยละ 44.74 ซึ่งสามารถลดการอุดตันได้ด้วยวิธีทางไฮโดรไดนามิกส์และวิธีทางเคมี ดังภาพที่ 3 แต่เนื่องจากยังคงเหลือสลัดจ์หรืออนุภาคขนาดเล็กที่มีการดูดซับและอุดตันภายในรูพรุนของเมมเบรน ทำให้ไม่สามารถฟื้นสภาพเมมเบรนได้ทั้งหมด จากงานวิจัยของ Zhang et al. (2019) ได้ศึกษาการฟื้นสภาพเมมเบรนด้วยสาร HCl, NaOH และ NaClO ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร ระยะเวลาในการทำความสะอาด 3-5 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพการทำความสะอาดเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของเวลาในการทำความสะอาด ดังนั้นหากต้องการฟื้นฟูสภาพของเมมเบรนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ควรเพิ่มระยะเวลาในการทำความสะอาดด้วยสารเคมี



ภาพที่ 4 ค่าความต้านทานการไหลผ่านเมมเบรนอัลตราฟิวเตรชัน (UF) ในรูปแบบต่าง ๆ

สรุปผลการวิจัย

การบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยชุมชนด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน UF ไม่สามารถทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยชุมชนตามที่กฎหมายกำหนดได้ การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดด้วยการนำน้ำเพอมีเอทจากระบบ UF มาบำบัดต่อด้วยชุดกรองเมมเบรน RO ทำให้สารมลพิษในน้ำชะขยะในรูปของค่า BOD, COD และ TSS ลดลงได้มากกว่าร้อยละ 97 ทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของระบบเมมเบรนอยู่ที่การอุดตันและทำให้ประสิทธิภาพของเมมเบรนลดลง ซึ่งจะต้องมีการล้างทำความสะอาดเป็นประจำ

เอกสารอ้างอิง

ทวีชัย เจียรนัยขจร. (2565). *คู่มือการเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล*. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.

บุญชัย วิจิตรเสถียร. (2547) *รายงานการวิจัยการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยชุมชนด้วยวิธีทางเคมี*. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

Bodzek, M., Łobos-Moysa, E. and Zamorowska, M. (2006). Removal of organic compounds from municipal landfill leachate in a membrane bioreactor. *Desalination, 198*(1-3), 16-23. ttps://doi.org/10.1016/j.desal.2006.09.004.

Roy, D., Drogui, P., Tyagi, R. D., Landry, D. and Rahni M. (2020). MBR treatment of leachates originating from waste management facilities: A reference study of the design parameters for efficient treatment. *Journal of Environmental Management*, *259*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.110057

Lindamulla, L., Nanayakkara, N., Maazuza, O. and Jinadasa, K. (2022). Municipal solid waste landfill leachate characteristics and their treatment options in tropical countries. *Current Pollution Reports*, *8*, 273-287. http://dx.doi.org/ 10.1007/s40726-022-00222-x.

Tałałaj, I., Biedka, P. and Bartkowska, I. (2019). Treatment of landfill leachates with biological pretreatments and reverse osmosis. *Environmental Chemistry Letters*, *17*, 1177–1193. https://doi.org/10.1007/s10311-019-00860-6.

Elfilalia, N., Essafi, N., Zait, M., Tahaikt M., Elazhar F., Elmidaoui A. and Taky M. (2021). Effectiveness of membrane bioreactor/reverse osmosis hybrid process for advanced purification of landfill leachate. *Desalination and Water Treatment*, *240*(2021), 24-32. DOI: https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27560.

Iorhemen, O. T., Hamza, R. A. and Tayand J. H. (2016). Membrane Bioreactor (MBR) technology for wastewater treatment and reclamation: membrane fouling. *Membranes and Water Treatment, 6*(2), 33. https://doi.org/10.3390/membranes6020033.

Zhang, B., Yu, S., Zhu, Y., Shen, Y., Gao, X., Shi, W. and Tay H. J. (2019). Efficiencies and mechanisms of the chemical cleaning of fouled polytetrafluoroethylene (PTFE) membranes during the microfiltration of alkali/surfactant/polymer flooding oilfield wastewater. *RSC Advances*, *63*. https://doi.org/10.1039/C9RA06745K.