

การบำบัดน้ำเสียขุมเหมืองจากถ่านหินลิกไนต์ ด้วยเมมเบรนออสโมซิสแบบย้อนกลับ Treatment of Lignite Coal Mine Wastewater Using Reverse Osmosis Membrane

ทิพย์สุรีย์ กรบุญรักษา^{1,*} และ วัชร จักรชัยชาญ²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี

*Corresponding author; E-mail address: thipsuree@eng.buu.ac.th

บทคัดย่อ

การทำเหมืองแร่เป็นกิจการที่มีความจำเป็นเนื่องจากมีการใช้ทรัพยากรแร่เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาประเทศ ภายหลังการปิดเหมืองแร่ลงพื้นที่มักจะถูกปล่อยให้เป็นพื้นที่ที่ถูกทิ้งร้างโดยขาดการจัดการการฟื้นฟูที่เหมาะสมและทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมาได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดน้ำขุมเหมือง (Sump) ที่เกิดการสะสมของน้ำในเหมืองแบบเปิดซึ่งน้ำขุมเหมืองมีค่า pH ต่ำ และมีปริมาณแมงกานีสละลายน้ำในปริมาณที่สูง งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียขุมเหมืองจากถ่านหินลิกไนต์ด้วยเมมเบรนออสโมซิสแบบย้อนกลับ ผลการศึกษาพบว่าน้ำ Permeate ที่บำบัดได้มีค่า pH เป็น 4.4 และมีการนำไฟฟ้า ค่าของแข็งที่ละลายในน้ำ ปริมาณแมงกานีสและปริมาณเหล็กที่หลงเหลือในน้ำ Permeate เท่ากับ 0.02 mS/cm, 0.01 ppt, 0.47 mg/L และ 0.04 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดที่ 98.3%, 98.4%, 98.4% และ 87.1% ตามลำดับ โดยคุณภาพน้ำ Permeate สามารถผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ พบว่ามีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ Permeate อยู่ที่ 35.26 บาทต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็นค่าน้ำประปาที่สามารถลดลงได้ 93,091.87 บาทต่อสองปี

คำสำคัญ: น้ำขุมเหมือง, การบำบัดน้ำเสีย, เมมเบรนออสโมซิสแบบย้อนกลับ

Abstract

Mining is necessary as mineral resources are utilized for national development purposes. After the shutdown of the mine, the area is often left abandoned due to lack of proper rehabilitation management and subsequent environmental impacts. Especially, the formation of the Sump is characterized by the accumulation of water in the open mine as a result of the Sump's low pH value and the high amount of dissolved manganese. The objectives of this study focused on the treatment of lignite coal mine wastewater using reverse osmosis membrane. The results showed that quality of permeate in terms of pH, conductivity, TDS, total Mn and total Fe were 4.4, 0.02

mS/cm, 0.01 ppt, 0.47 mg/L and 0.04 mg/L, respectively. The conductivity, TDS, total Mn and total Fe removal efficiencies were 98.3 %, 98.4 %, 98.4 % and 87.1%, respectively. Permeate quality could meet the standard criteria for surface water. Permeate can be used as an alternative water source. Cost of permeate treatment was 35.26 Baht per cubic meter. It could possibly reduce the operating cost at the amount of 93,091.87 THB/ two years.

Keywords: Sump, Wastewater Treatment, Reverse Osmosis Membrane

1. คำนำ

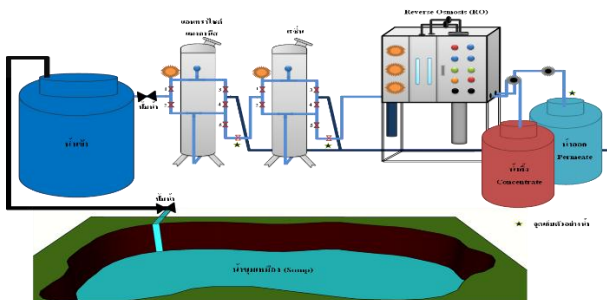
เหมืองถ่านหินลิกไนต์เป็นอุตสาหกรรมที่ได้มีการผลิตและส่งออกถ่านหินลิกไนต์เป็นจำนวนมาก ภายหลังเมื่อมีการปิดเหมืองถ่านหินลิกไนต์ไปแล้วได้ปล่อยให้เป็นพื้นที่ที่รกร้างไม่ได้ใช้ประโยชน์ และในบริเวณจุดที่ต่ำที่สุดของบ่อเหมืองจะมีการสะสมของน้ำจากการทำเหมืองที่เรียกว่าน้ำขุมเหมือง (Sump) ซึ่งเป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการล้างถ่านหินและกิจการทำเหมืองแร่ ทั้งนี้พระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2560 มีการกำหนดให้ออกมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างครบถ้วน ประกอบกับในปี พ.ศ. 2562 นโยบายของกระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดมาตรการในการช่วยเหลือประชาชนรับมือกับภัยแล้ง โดยได้มอบหมายให้กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กพร.) นำน้ำจากขุมเหมืองทั่วประเทศที่มีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินไปใช้ประโยชน์เพื่อช่วยบรรเทาและแก้ปัญหาภัยแล้งให้กับประชาชนสำหรับน้ำจากขุมเหมืองที่ผ่านการทำเหมืองแร่และปิดกิจการไปแล้วนั้น ให้ประสานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและเจ้าของพื้นที่หาแนวทางการนำน้ำจากขุมเหมืองไปช่วยเหลือประชาชนที่ประสบภัยแล้งด้วยเช่นกัน ซึ่งพบว่าพื้นที่ประทานบัตรที่มีศักยภาพสามารถนำมาใช้แก้ไขปัญหาดังกล่าวไม่น้อยกว่า 200 แปลง มีปริมาณน้ำไม่น้อยกว่า 150 ล้านลูกบาศก์เมตรกระจายอยู่ทั่วประเทศ ซึ่งถือเป็นการใช้ทรัพยากรด้านพื้นที่ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่าสูงสุด [1] เมื่อพิจารณาจากเหมืองถ่านหินลิกไนต์ในอำเภอสี จังหัดลำพูนพบว่า น้ำขุมเหมืองที่เกิดขึ้นยังไม่ผ่านการบำบัดที่เพียงพอ โดยตรวจพบ

สารปนเปื้อนจากการทำเหมืองในรูปของแมงกานีสที่ละลายในน้ำที่ 30.1 mg/L ซึ่งมีปริมาณที่มากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ ต้องมีค่าไม่เกิน 1 mg/L รวมถึงค่า pH ของน้ำขุมเหมืองที่มีสภาพเป็นกรด โดยทั่วไประบบบำบัดน้ำเสียขุมเหมืองใช้วิธีการทางเคมีและตามด้วยการตกตะกอนเพื่อลดค่า COD ในน้ำเสีย และมีการใช้ระบบเมมเบรน UF/RO (Ultrafiltration/ Reverse Osmosis) เข้ามาร่วมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ของการนำน้ำที่บำบัดได้กลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ [2, 3] เมื่อพิจารณาเทคโนโลยีเมมเบรนออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis Membrane) ที่เป็นกระบวนการเมมเบรนชนิดหนึ่งที่อาศัยความแตกต่างของแรงดันเพื่อแยกตัวทำละลายออกจากสารละลาย เมื่อแรงดันเกินแรงดันออสโมติก สารละลายจะซึมไปในทิศทางย้อนกลับกับทิศทางของออสโมซิสตามธรรมชาติ ทั้งนี้เมมเบรนออสโมซิสย้อนกลับสามารถดักจับไอออนอนินทรีย์ สารคอลลอยด์ โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ โลหะต่างๆ ที่อยู่ในน้ำ โดยที่อนุภาคต่างๆ จะถูกเมมเบรนผลักดันออกไปจึงไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้ และยอมให้เฉพาะโมเลกุลของน้ำไหลผ่านเมมเบรน จึงเหลือเฉพาะน้ำที่มีความสะอาดสูงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ [4, 5, 6] ซึ่งทำให้สามารถลดปริมาณแมงกานีสละลายที่พบในน้ำขุมเหมืองได้ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียขุมเหมืองจากถ่านหินลิกไนต์ด้วยเมมเบรนออสโมซิสแบบย้อนกลับ เพื่อให้สามารถบำบัดน้ำเสียขุมเหมืองผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 2 ของประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2537 ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 และสามารถนำน้ำที่บำบัดได้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป

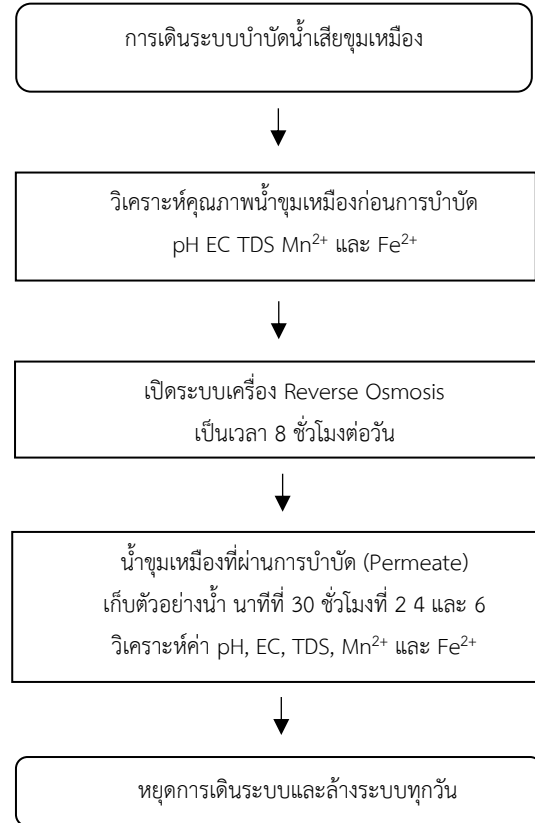
2. ขอบเขตการศึกษา

2.1 การออกแบบการทดลอง

แหล่งที่มาน้ำขุมเหมืองจากอำเภอสี จังหวัดลำพูน ทำการทดลองโดยใช้เมมเบรนออสโมซิสแบบย้อนกลับ มีขนาดรูพรุนที่ 0.0001 ไมครอน ผลิตจากวัสดุโพลีเอไมด์ ยี่ห้อ Ultratek RO Membranes รุ่น BW-4040(E) กำหนดอัตราการไหลที่ 6,000 ลิตรต่อวัน แสดงดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2



รูปที่ 1 การบำบัดน้ำเสียขุมเหมือง



รูปที่ 2 การเดินระบบบำบัดน้ำเสียขุมเหมือง

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัด

ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัดน้ำขุมเหมือง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดและวิธีการตรวจวัด

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด	วิธีการตรวจวัด
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	เครื่อง pH Meter ยี่ห้อ Hanna รุ่น HI 99300
2. ค่าการนำไฟฟ้า	เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า ยี่ห้อ Hanna รุ่น HI 99300
3. ค่าของแข็งที่ละลายในน้ำ	เครื่องวัดของแข็งที่ละลายในน้ำ ยี่ห้อ Hanna รุ่น HI 99300
4. แมงกานีส (Mn)	เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสด้วย UV-Vis Spectrophotometer รุ่น DR-5000 ยี่ห้อ HACH
5. เหล็ก (Fe)	เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กด้วย UV-Vis Spectrophotometer รุ่น DR-5000 ยี่ห้อ HACH

3. ผลการศึกษาวิจัย

3.1 คุณลักษณะของน้ำเสียขุมเหมือง

คุณลักษณะของน้ำเสียที่สะสมอยู่ในขุมเหมือง อำเภอสี จังหวัดลำพูน แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าค่า pH และค่าแมงกานีสไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 2 ที่กำหนด โดยค่า pH มีค่า 3.1 ซึ่งแสดงภาวะความเป็นกรดที่สูง ในขณะที่ค่าแมงกานีสมีค่า 30.1 mg/L ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้สูงมาก และค่าเหล็กมีค่า 3.0 mg/L ซึ่งมีค่า

มากกว่าที่พบในแหล่งน้ำผิวดินทั่วไปที่พบค่าเฉลี่ยในช่วง 0.5-1.7 mg/L [7]

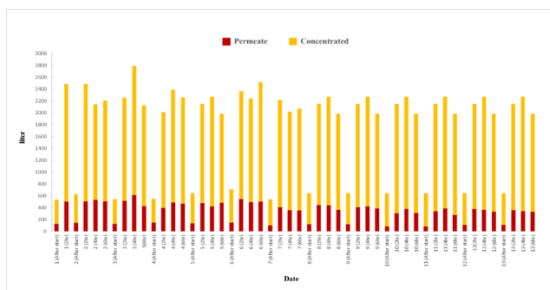
ตารางที่ 2 คุณสมบัติของน้ำเสียชุมชนเมือง

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์	มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 2* [8]
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	3.1	5.0-9.0
2. ค่าการนำไฟฟ้า	1.2 mS/cm	ไม่กำหนด
3. ค่าของแข็งที่ละลายในน้ำ	0.6 ppt	ไม่กำหนด
4. แมงกานีส (Mn)	30.1 mg/L	1.0
5. เหล็ก (Fe)	3.0 mg/L	ไม่กำหนด

ที่มา: * ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ.2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดมาตรฐาน คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

3.2 อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านเมมเบรนออสโมซิสแบบย้อนกลับ

จากรูปที่ 3 เห็นได้ว่าอัตราการไหลของน้ำที่บำบัดได้ หรือน้ำ Permeate มีอัตราการไหลเฉลี่ยที่ 244 ลิตรต่อชั่วโมง และในส่วนของน้ำ ส่วนที่ถูกกักกัน หรือน้ำ Concentrated มีอัตราการไหลเฉลี่ยที่ 800 ลิตรต่อชั่วโมง การที่อัตราการไหลของน้ำน้ำ Permeate มีค่าน้อยกว่าน้ำ Concentrated เนื่องจากเมมเบรนจะทำการกักกันอนุภาคต่าง ๆ ที่ตกค้างในน้ำ [9, 10] โดยมีเฉพาะโมเลกุลของน้ำหรือสารละลายที่มีขนาดเล็กกว่า 0.0001 ไมครอนที่สามารถผ่านเมมเบรนได้ ในส่วนน้ำ Concentrated จะถูกนำกลับมาบั่นและรวมเข้ากับน้ำเสียชุมชนเมืองเริ่มต้น ทำให้เกิดความเข้มข้นสะสมในน้ำเสียชุมชนเมืองมากขึ้นตามระยะเวลา และส่งผลให้ระบบออสโมซิสแบบย้อนกลับเกิดการอุดตัน อัตราการไหลของน้ำ Permeate จึงมีน้อยกว่าน้ำ Concentrated ทั้งนี้ในสภาวะการเดินระบบจริง น้ำ Concentrated จะมีการบั่นกลับเข้าไปรวมกับน้ำเสียชุมชนเมืองเพื่อไม่ให้เกิดการทิ้งน้ำ Concentrated ที่มีความเข้มข้นสูงส่งแหล่งน้ำสาธารณะ และสามารถลดการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากน้ำ Concentrated ได้

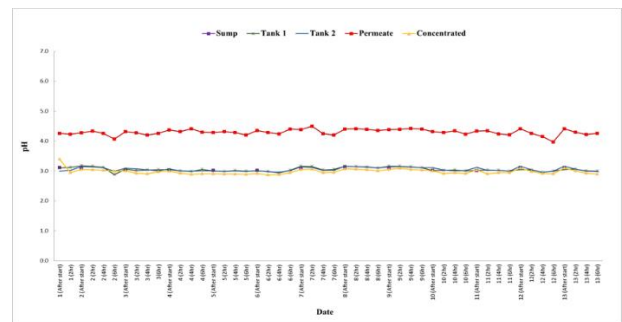


รูปที่ 3 อัตราการไหลของน้ำ Permeate และน้ำ Concentrated

3.3 ค่า pH

ผลจากการเดินระบบพบว่าค่า pH ของน้ำชุมชนเมืองเมื่อผ่านเข้าถังกรองใบที่ 1 ที่มีการบรรจุแมงกานีสและแอนทราไซด์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการกำจัดแมงกานีสและสารแขวนลอย ตามลำดับ พบว่า pH มีค่า 3.1 โดยยังคงมีสภาวะความเป็นกรดค่อนข้างสูงและไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับคุณภาพน้ำชุมชนเมืองเบื้องต้น และเมื่อนำน้ำผ่านถังกรองใบที่ 2 ที่มีการ

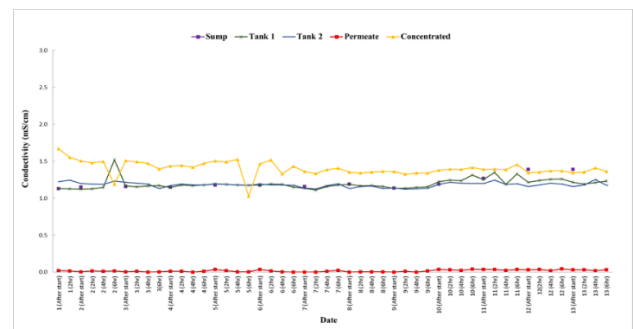
บรรจุเรซินโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดไอออนที่มีประจุเป็นบวก พบว่าค่า pH ในน้ำชุมชนเมืองยังคงมีค่าเป็น 3.1 เช่นเดิม แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของสารกรองจากถังใบที่ 1 และถังกรองใบที่ 2 ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่า pH ในน้ำชุมชนเมืองได้ แต่เมื่อตัวอย่างน้ำถูกบำบัดด้วยเมมเบรนออสโมซิสแบบย้อนกลับ พบว่าน้ำ Permeate มีค่า pH เป็น 4.4 โดยมีค่า pH เพิ่มขึ้นจากเดิม ในขณะที่น้ำ Concentrated ยังคงมีค่า pH เป็น 3.1 แสดงดังรูปที่ 4 ทั้งนี้ต้องมีการปรับค่า pH ของน้ำให้มีค่าสูงขึ้น ที่ pH ประมาณ 5 ด้วยสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) เพื่อให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ คือ มีค่า pH อยู่ในช่วง 5-9



รูปที่ 4 ค่า pH

3.4 ค่าการนำไฟฟ้า

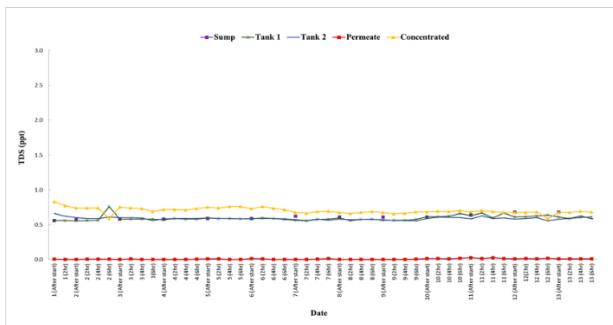
ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียชุมชนเมืองภายหลังผ่านเข้าสู่ถังกรองใบที่ 1 มีค่าการนำไฟฟ้าเป็น 1.19 mS/cm ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำตัวอย่างเริ่มต้น และเมื่อน้ำตัวอย่างผ่านเข้าสู่ถังกรองใบที่ 2 พบว่ามีค่าการนำไฟฟ้าเป็น 1.20 mS/cm ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าถังกรองทั้งสองชนิดไม่มีความสามารถในการลดค่าการนำไฟฟ้าลงได้ แต่เมื่อน้ำตัวอย่างถูกบำบัดด้วยเมมเบรนออสโมซิสแบบย้อนกลับ พบว่าน้ำ Permeate มีค่าการนำไฟฟ้าที่ 0.02 mS/cm คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด 98.3 % ในขณะที่น้ำ Concentrated มีค่าการนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเป็น 1.59 mS/cm เนื่องจากมีการกักกันอนุภาคต่างๆ ไม่ให้ผ่านไปยังน้ำ Permeate ได้ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ค่าการนำไฟฟ้า

3.5 ค่าของแข็งที่ละลายในน้ำ

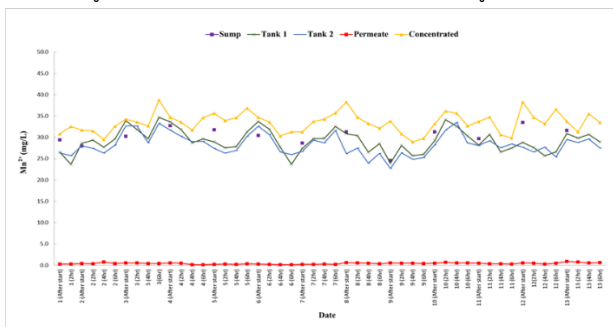
ค่าของแข็งที่ละลายในน้ำตัวอย่างหลังผ่านถังกรองใบที่ 1 มีค่าเป็น 0.59 ppt ซึ่งใกล้เคียงกับค่าน้ำตัวอย่าง และเมื่อผ่านไปยังถังกรองใบที่ 2 พบว่าค่าของแข็งที่ละลายในน้ำมีค่า 0.60 ppt เช่นเดิม แสดงให้เห็นว่าถังกรองทั้งสองชนิดไม่สามารถลดปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำลงได้ อย่างไรก็ตามเมื่อตัวอย่างน้ำถูกบำบัดด้วยเมมเบรนออสโมซิสแบบย้อนกลับ ค่าของแข็งที่ละลายในน้ำ Permeate มีค่า 0.01 ppt หรือสามารถลดค่าของแข็งที่ละลายในน้ำลงได้ถึง 98.4% ในขณะที่น้ำ Concentrated มีค่าของแข็งที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 0.80 ppt อันเนื่องมาจากการกักกันอนุภาคไม่ให้ผ่านไปยังน้ำ Permeate โดยระบบรีเวอร์สออสโมซิส และทำให้เกิดการสะสมในส่วนของน้ำ Concentrated ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่าของแข็งที่ละลายในน้ำ

3.6 แอมกานีส

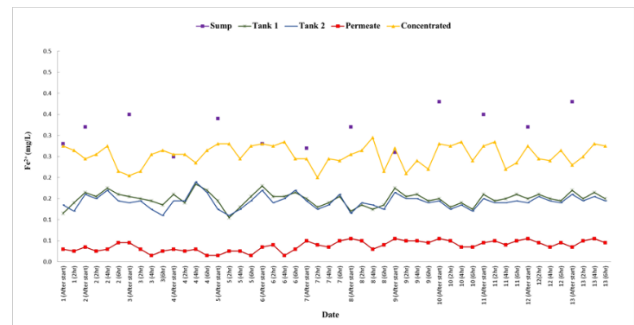
ปริมาณแอมกานีสในน้ำตัวอย่างหลังผ่านถังกรองใบที่ 1 มีค่าเป็น 29.33 mg/L ซึ่งใกล้เคียงกับค่าน้ำตัวอย่าง และเมื่อผ่านไปยังถังกรองใบที่ 2 พบว่าปริมาณแอมกานีสในน้ำมีค่าเป็น 28.45 mg/L ซึ่งใกล้เคียงกับถังกรองใบที่ 1 อย่างไรก็ตามเมื่อตัวอย่างน้ำถูกบำบัดด้วยเมมเบรนออสโมซิสแบบย้อนกลับ พบว่าน้ำ Permeate มีปริมาณแอมกานีสลดลงเหลือ 0.47 mg/L หรือมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมกานีสได้ 98.4% โดยปริมาณแอมกานีสที่หลงเหลือในน้ำภายหลังการบำบัดพบว่ามีความตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ ในขณะที่น้ำ Concentrated มีปริมาณแอมกานีสสูงขึ้นเป็น 33.18 mg/L แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ปริมาณแอมกานีส

3.7 เหล็ก

ปริมาณเหล็กในน้ำตัวอย่างหลังผ่านถังกรองใบที่ 1 มีค่าเป็น 0.15 mg/L ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณเหล็กที่มีอยู่ในน้ำตัวอย่างที่ 0.31 mg/L และเมื่อผ่านไปยังถังกรองใบที่ 2 พบว่าปริมาณเหล็กในน้ำมีค่าคงเดิม คือ 0.14 mg/L ซึ่งใกล้เคียงกับถังกรองใบที่ 1 แสดงว่าถังกรองใบที่ 2 ไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณเหล็กในตัวอย่างน้ำลงได้ อย่างไรก็ตามเมื่อตัวอย่างน้ำถูกบำบัดด้วยเมมเบรนออสโมซิสแบบย้อนกลับ พบว่าน้ำ Permeate มีปริมาณเหล็กลดลงเหลือ 0.04 mg/L หรือมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมกานีสได้ 87.10% โดยปริมาณเหล็กที่หลงเหลือในน้ำภายหลังการบำบัดพบว่ามีความตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในขณะที่น้ำ Concentrated มีปริมาณเหล็กอยู่ที่ 0.25 mg/L ซึ่งใกล้เคียงกับค่าน้ำตัวอย่างน้ำ แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ปริมาณเหล็ก

3.8 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ

เมื่อพิจารณาต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียชุมชนเมือง โดยคิดที่อายุการใช้งานของระบบอยู่ที่ 2 ปี มีปริมาณน้ำ Permeate ที่บำบัดได้รวม 4,274.88 ลูกบาศก์เมตร จะมีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสารกรองต่างๆ ได้แก่ สารกรองเรซิน สารกรองแอมกานีส สารกรองแอนทราไซด์ ไส้กรองหยาบ ไส้กรองเมมเบรนออสโมซิส รวมถึงค่าไฟฟ้าในการเดินระบบ แสดงดังตารางที่ 3 คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำ Permeate อยู่ที่ 35.26 บาทต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็นค่าน้ำประปาที่สามารถลดลงได้ 93,091.87 บาทต่อสองปี ซึ่งจะมีราคาแพงกว่าค่าเฉลี่ยของการจ่ายค่าน้ำประปาสำหรับกิจการเหมืองแร่ที่ประมาณ 13.47 บาทต่อลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าราคาของน้ำ Permeate ที่บำบัดได้จะมีราคาสูงกว่าค่าน้ำประปา แต่คุณภาพของน้ำ Permeate ที่ได้ก็มีคุณภาพที่ดีกว่าน้ำประปา และสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่แทนการปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดและวิธีการตรวจวัด

งานวิจัย	ค่าใช้จ่าย (บาท)
สารกรองเรซิน	10,800.00
สารกรองแมงกานีส	4,000.00
สารกรองแอนทราไซด์	6,400.00
ไส้กรองหยาบ 20 นิ้ว 5 ไมครอน	10,400.00
ไส้กรองเมมเบรนออสโมซิสย้อนกลับ	4,500.00
ค่าไฟฟ้า	114,636.48
รวม	150,736.48

เมื่อพิจารณาจากชนิดของโลหะหนักที่ตกค้างในพื้นที่ที่ทำการทำเหมืองแร่มาแล้ว พบชนิดของโลหะหนักที่อันตรายและสามารถส่งผ่านห่วงโซ่อาหารไปยังสัตว์น้ำและมนุษย์ได้ ได้แก่ สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) และปรอท (Hg) [11] ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียขุมเหมืองด้วยวิธีการทางเคมีไม่สามารถกำจัดโลหะหนักกลุ่มนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การใช้กระบวนการเมมเบรนออสโมซิสแบบย้อนกลับที่มีขนาดรูพรุนเมมเบรนอยู่ที่ 0.0001 ไมครอน ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าขนาดของโลหะหนักที่กล่าวในข้างต้น คือ สารหนู (As) 0.00024 ไมครอน แคดเมียม (Cd) 0.00028 ไมครอน ตะกั่ว (Pb) 0.00031 ไมครอน และปรอท (Hg) 0.00029 ไมครอน สามารถกักจับโลหะหนักเหล่านี้ผ่านกลไกการกรองผ่านเยื่อกรองเมมเบรนทำให้ภายหลังการบำบัดน้ำเสียขุมเหมืองด้วยกระบวนการเมมเบรนออสโมซิสแบบย้อนกลับจะได้น้ำ Permeate ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อช่วยบรรเทาและแก้ปัญหาภัยแล้งให้กับประชาชนได้อย่างปลอดภัย [12]

4. สรุปผลวิจัย

ผลจากการบำบัดน้ำเสียขุมเหมืองด้วยกระบวนการเมมเบรนออสโมซิสแบบย้อนกลับ พบว่าค่า pH ของถังกรองใบที่ 1 ถังกรองใบที่ 2 และระบบเมมเบรน สามารถปรับค่า pH ได้เพียงเล็กน้อย ในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าไม่ลดลงในระบบถังกรองใบที่ 1 และถังกรองใบที่ 2 แต่สามารถลดลงได้เมื่อผ่านการกรองด้วยระบบเมมเบรน โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าการนำไฟฟ้าได้ 98.3% สำหรับค่าของแข็งที่ละลายในน้ำไม่มีแนวโน้มที่จะลดลงในระบบถังกรองใบที่ 1 และถังกรองใบที่ 2 เช่นเดียวกัน แต่สามารถค่าลดลงได้ดีเมื่อผ่านการกรองด้วยระบบเมมเบรนถึง ร้อยละ 98.4% สำหรับปริมาณแมงกานีส ไม่มีแนวโน้มที่ลดลงในระบบถังกรองใบที่ 1 และถังกรองใบที่ 2 แต่สามารถลดลงได้เมื่อผ่านเมมเบรนถึง 98.4 % เช่นเดียวกับปริมาณเหล็ก ไม่มีแนวโน้มที่ลดลงในระบบถังกรองใบที่ 2 แต่ค่าลดลงเมื่อผ่านการกรองด้วยถังกรองใบที่ 1 และเมื่อผ่านระบบเมมเบรนพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดเหล็กอยู่ที่ 51.6% และ 87.1% ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่าคุณภาพน้ำทุกพารามิเตอร์จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อผ่านการกรองด้วยเมมเบรนออสโมซิสผกผัน พบว่ามีค่าใช้จ่ายในการ

บำบัดน้ำ Permeate อยู่ที่ 35.26 บาทต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็นค่าน้ำประปาที่สามารถลดลงได้ 93,091.87 บาทต่อสองปี

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. (2562). นโยบายนำน้ำจากขุมเหมือง รับมือภัยแล้ง. สืบค้น 26 เมษายน 2568. จาก <https://www.dpim.go.th/purchase/article?catid=102&articleid=10997>
- [2] เฉียนคุน สิ่งแวดล้อม. (2568). การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเหมืองแร่. สืบค้น 26 เมษายน 2568. จาก <https://th.sewageclean.com/industrial-wastewater-treatment/mining-in-dustry-wastewater-treatment.html>
- [3] Chunke. (2568). การบำบัดน้ำสำหรับอุตสาหกรรมเหมืองแร่ แร่ธาตุและโลหะ: แนวปฏิบัติที่ดีที่สุด. จาก <https://th.chunkewatertreatment.com/water-treatment-for-mining-minerals-and-metal-industries/>
- [4] มั่นสิน ต้นทุลเวศน์. (2547). เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [5] รัตนา จิระรัตนานนท์. (2543). กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ:
- [6] นรา รัตนพันธ์. (2552). การบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับกระบวนการออสโมซิสผกผันเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่. วิทยานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [7] ส่วนเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6 (นนทบุรี). (2564). รายงานสถานการณ์คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน พื้นที่ภาคกลางตอนล่าง ปี พ.ศ. 2564. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:
- [8] ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ.2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดมาตรฐาน คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน
- [9] Hisham T. E. and Hisham M. E. (2002). Chapter 7 Reverse Osmosis. *Fundamentals of Salt Water Desalination*, pp. 409-437.
- [10] Haleema, S. and Syed J. Z. (2020). Nanoparticles in reverse osmosis membranes for desalination: A state of the art review. *Desalination*, 475, pp. 114171
- [11] ถนอมศักดิ์ บุญภักดี และพลอยสิรินทร์ แสงมณี. (2563). การประเมินศักยภาพการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำขุมเหมืองเก่าในจังหวัดชลบุรีโดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ. มหาวิทยาลัยบูรพา
- [12] เจอาร์ วอเตอร์. (2568). Reverse Osmosis (RO) คืออะไร. สืบค้น 26 เมษายน 2568. จาก <https://www.jrwater.com/>