

การบำบัดน้ำและกำจัดโลหะหนักในน้ำบาดาลด้วยเมมเบรนรวม ตามดัชนีวัดคุณภาพน้ำดื่ม

สุนิดา ทองโท¹, ฐิติพงษ์ อุ๋นใจ^{2*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อุบลราชธานี

²สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อุบลราชธานี

*Corresponding author email: Thitipong.u@ubru.ac.th

ได้รับบทความ: 13 มกราคม 2568

ได้รับบทความแก้ไข: 13 มีนาคม 2568

ยอมรับตีพิมพ์: 1 เมษายน 2568

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบบำบัดน้ำและกำจัดโลหะหนัก (เหล็กและแมงกานีส) ในน้ำบาดาลแบบเมมเบรนรวมให้เหมาะสมตามดัชนีมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค ด้วยเมมเบรนรวมจากแบบตาข่ายขนาดรูพรุน 1 มิลลิเมตร ชั้นเยื่อบาง 0.05 มิลลิเมตร ชั้นเยื่อบาง 0.001 มิลลิเมตร และชั้นกรองที่ทำมาจากวัสดุสังเคราะห์ชนิดโพลีเอไมด์ขนาด 0.0001 ไมโครเมตร เพื่อให้น้ำบาดาลในพื้นที่อำเภอฟิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี มีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพในระดับที่เหมาะสม โดยการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลดิบและน้ำภายหลังการบำบัดจำแนกตามดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ ผลการทดสอบคุณภาพน้ำ สามารถสรุปได้ว่าเมมเบรนรวมที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถกำจัดโลหะหนักในน้ำบาดาลเพื่อให้ค่าดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.01-7.45 ความกระด้าง 122-144 mg/L ปริมาณของแข็งละลายน้ำ 21.27-29.32 mg/L ซัลเฟต 11-18 mg/L คลอไรด์ 11.18 mg/L ไนเตรต 2-10 mg/L เหล็ก 0.06-0.16 mg/L และแมงกานีส 0.01-0.09 mg/L ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคโดยองค์รอนามัย

โลก พ.ศ. 2539 ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ปริมาณการ
ใช้งาน 10,000 ลิตร

คำสำคัญ : น้ำบาดาล/ น้ำดื่ม/ โลหะหนัก/ เมมเบรนรวม

Water Treatment and Removal of Heavy Metals in Groundwater using Integrated Membranes on Drinking Water Quality Indexes

Sunida Thongtho¹, Thitipong Unchai^{2*}

¹Environmental Science Program, Faculty of Science,
Ubonratchathani Rajabhat University, Ubonratchathani

²Physics Program, Faculty of Science,
Ubonratchathani Rajabhat University, Ubonratchathani

*Corresponding author email: thitipong.u@ubru.ac.th

Received: 13 January 2025

Revised: 13 March 2025

Accepted: 1 April 2025

Abstract

This study aimed to develop a water treatment system for the removal of heavy metals (iron and manganese) from groundwater using an integrated membrane system, ensuring compliance with groundwater quality standards for consumption. The integrated membrane was composed of a mesh layer with a pore size of 1 mm, a thin-film layer of 0.05 mm, another thin-film layer of 0.001 mm, and a filtration layer made from synthetic polyamide material with a pore size of 0.0001 μm . The objective was to improve the chemical and physical properties of groundwater in Phibun Mangsahan District, Ubon Ratchathani Province, to acceptable levels. Groundwater quality was analyzed before and after treatment based on quality indices. The results indicated that the integrated membrane developed in this research effectively removed heavy metals from groundwater, achieving water quality indices within

acceptable standards, including pH (7.01–7.45), hardness (122–144 mg/L), total dissolved solids (21.27–29.32 mg/L), sulphate (11–18 mg/L), chloride (11.18 mg/L), nitrate (2–10 mg/L), iron (0.06–0.16 mg/L), and manganese (0.01–0.09 mg/L), in compliance with the World Health Organization's 1996 drinking water standards as per the Ministry of Natural Resources and Environment's regulations, with a usage capacity of 10,000 liters.

Keywords : Groundwater/ Drinking water/ Heavy metal/ Integrated membrane

บทนำ

น้ำบาดาลมีความสำคัญต่อการอุปโภคบริโภคและภาคการเกษตรในประเทศไทย เป็นแหล่งน้ำสำรองที่สำคัญรองจากน้ำฝนในช่วงฤดูฝน จากข้อมูลของสำนักงานนโยบาย และแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [1] พบว่า ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลประเทศไทย มีปริมาณน้ำบาดาลกักเก็บรวมทั้งสิ้น 1,137,712 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยภาคกลางมีปริมาณน้ำกักเก็บมากที่สุดของปริมาณน้ำบาดาลที่กักเก็บทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 36.29 รองลงมา คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (21.21) ภาคใต้ (17.56) ภาคเหนือ (14.66) ภาคตะวันตก (5.60) และภาคตะวันออก (4.68) ตามลำดับ ปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถนำมาใช้ได้ อย่างปลอดภัยประมาณ 45,390 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถนำมาใช้ได้มากที่สุด ของปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถนำมาใช้ได้ คิดเป็นร้อยละ 34.91 รองลงมาคือ ภาคใต้ (20.82) ภาคกลาง (16.35) ภาคเหนือ (11.66) ภาคตะวันออก (10.27) และภาคตะวันตก (5.99) ตามลำดับ

สำหรับสถานการณ์คุณภาพน้ำบาดาล ในปี พ.ศ. 2565 พบว่า คุณภาพน้ำบาดาลส่วนใหญ่มีคุณภาพดี ยกเว้นในบางพื้นที่ที่มีปริมาณแร่ธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำบาดาลมีปริมาณสูงเกินเกณฑ์อนุโลมสูงสุดตามมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ตามพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 (ฉบับล่าสุด) โดยมีบางพื้นที่ที่มีปัญหาเฉพาะ เช่น ปัญหาการแทรกดันของน้ำบาดาลคุณภาพกร่อย-เค็ม เข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลจืดระดับตื้น โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คุณภาพโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการบริโภค แต่บางพื้นที่มีปริมาณโลหะหนักเกินมาตรฐาน เช่น ปริมาณเหล็กและแมงกานีสสูง ซึ่งปัญหาคุณภาพน้ำบาดาลในแต่ละพื้นที่แตกต่างกันตามลักษณะทางธรณีวิทยาและสิ่งแวดล้อม ประกอบกับพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ส่วนใหญ่ประสบปัญหาดินเค็ม แพร่กระจายทั่วไปเกือบทุกจังหวัด ปัญหานี้จำเป็นต้องแก้ไขด้วยการปรับปรุงคุณภาพน้ำในพื้นที่ที่มีปัญหาก่อนนำมาใช้ประโยชน์ [2]

โดยทั่วไปน้ำใต้ดินจะมีแร่ธาตุในปริมาณสูง และปริมาณแร่ธาตุนี้นี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเจาะลึกลงไปใต้ผิวดิน [3] ในเขตน้ำใต้ดินที่ตื้นกว่า จะมีไอออนไบคาร์บอเนตอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งเกิดจากการรวมตัวของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาในระหว่างการสลายตัวของสารอินทรีย์ในดิน อย่างไรก็ตาม ชั้นน้ำใต้ดินที่ลึกลงไปตั้งแต่ประมาณ 30-100 เมตร ปริมาณแร่ธาตุนี้นี้มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นจากการสลายตัวของ

สารอินทรีย์จากชั้นหินใกล้ผิวดิน [4] การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบแร่ธาตุเหล่านี้ถือเป็นสิ่งสำคัญในการประเมินการใช้งานและการบำบัดที่จำเป็นสำหรับทรัพยากรน้ำใต้ดิน เมื่อต้องพัฒนาทรัพยากรน้ำใต้ดิน สิ่งสำคัญคือต้องพิจารณาถึงคุณภาพน้ำไม่เพียงแต่เฉพาะปริมาณน้ำใต้ดินที่มีอยู่ สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำใต้ดินจึงมีบทบาทสำคัญในการกำหนดความเหมาะสมสำหรับการใช้ประโยชน์ การนำมาอุปโภคบริโภค ในทางอุตสาหกรรม และการเกษตร การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะประเภทและความเข้มข้นของแร่ธาตุที่ละลายน้ำได้ สามารถให้ข้อมูลเชิงลึกที่มีค่าเกี่ยวกับประวัติทางธรณีวิทยาของน้ำใต้ดินและการเคลื่อนตัวผ่านชั้นต่างๆ ได้ น้ำใต้ดินโดยทั่วไปจะมีแร่ธาตุที่ละลายอยู่หลายชนิด และความเข้มข้นของแร่ธาตุเหล่านี้อาจแตกต่างกันได้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณโลหะหนักและไอออนที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำบาดาลที่จะนำมาใช้ในการบริโภค ได้แก่ ซัลเฟต (SO_4^{2+}) ไนเตรต (NO_3^-) คลอไรด์ (Cl^-) เหล็กไอออน (Fe^{2+}) และแมงกานีสไอออน (Mn^{2+}) ในรูปสารละลาย [5] ทั้งนี้ ชนิดและปริมาณแร่ธาตุที่พบในน้ำใต้ดินนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพแวดล้อมทางธรณีวิทยา รูปแบบการไหลของน้ำ และแหล่งกำเนิดของน้ำใต้ดิน [6] โดยทั่วไปแล้ว น้ำใต้ดินมักจะมีค่าความเข้มข้นของแร่ธาตุสูงกว่าแหล่งน้ำผิวดินจากการสัมผัสเป็นระยะเวลานานระหว่างน้ำใต้ดินกับแร่ธาตุที่มีอยู่ในหินและดินบริเวณโดยรอบ

การบำบัดน้ำบาดาลเพื่อนำมาบริโภคเป็นกระบวนการที่สำคัญในการนำทรัพยากรที่มีอยู่มาใช้ให้เกิดประโยชน์ เริ่มด้วยการตรวจสอบคุณภาพน้ำเพื่อตรวจหาสิ่งปนเปื้อน ความกระด้าง แร่ธาตุ จุลินทรีย์ และสารเคมี หลังจากนั้นใช้การกรองหยาบเพื่อกำจัดตะกอน ตามด้วยการกรองด้วยสารกรองหรือการแลกเปลี่ยนไอออนเพื่อลดความกระด้างและแร่ธาตุที่ไม่ต้องการ และการกำจัดสารละลายและจุลินทรีย์ จากนั้นกรองด้วยคาร์บอนเพื่อลดกลิ่นและรส และใช้การฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนหรือรังสีอัลตราไวโอเลต [7] เพื่อกำจัดแบคทีเรียและไวรัส ขั้นตอนสุดท้ายปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมและเก็บน้ำในถังสะอาด พร้อมตรวจสอบคุณภาพน้ำหลังบำบัดให้อยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานความปลอดภัยสำหรับการบริโภค

หลักการทำงานของเมมเบรนคือการยอมให้โมเลกุลของน้ำที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนไหลผ่าน ส่วนสิ่งเจือปนที่มีขนาดใหญ่กว่าจะถูกดักกรองไว้ในชั้นเมมเบรน [8] โดยประเภทของการคัดกรองจะแตกต่างกันตามขนาดรูพรุน ได้แก่ ไมโครฟิลเตรชันที่กรองอนุภาคใหญ่

อย่างตะกอนและแบคทีเรียบางชนิด [9] อัลตราฟิลเตรชันที่กรองไวรัสและโปรตีน [10] นาโนฟิลเตรชันที่กรองสารเคมีและเกลือบางประเภท [11] และรีเวิร์สออสโมซิสที่กรองเกลือและสารละลายปนเปื้อนอื่นที่ละเอียดมาก [12] กระบวนการนี้ทำงานโดยใช้แรงดันส่งน้ำผ่านเมมเบรน ซึ่งสิ่งปนเปื้อนขนาดใหญ่กว่าจะถูกแยกออกเหลือเพียงน้ำสะอาดที่ผ่านออกไปได้

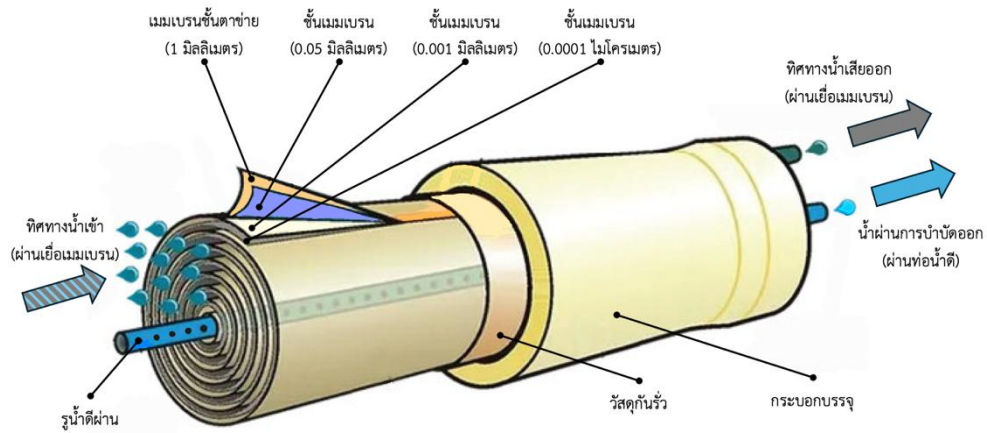
การวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการกำจัดโลหะหนักในน้ำบาดาลด้วยเมมเบรนรวมซึ่งเป็นระบบกรองน้ำที่มีความละเอียดสูง โดยใช้วัสดุสังเคราะห์ที่สามารถกรองโลหะหนักในน้ำบาดาลเพื่อให้ได้น้ำสะอาด ด้วยไส้กรองตาข่ายขนาด 0.0001 มิลลิเมตร [13] เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำที่มีคุณภาพสำหรับการบริโภคในพื้นที่อำเภอพิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี ให้มีคุณลักษณะทางเคมีและทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการบริโภค ตามดัชนีมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค ของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [14]

ขั้นตอนดำเนินการ

1. การพัฒนาระบบการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยเมมเบรน

ออกแบบระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยเมมเบรนรวมจากการรวมชั้นเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดแตกต่างกันเข้าด้วยกันเพื่อกรองสิ่งสกปรกหรืออนุภาคโลหะหนักออกจากน้ำ จากเดิมที่ระบบกรองจะใช้การกรองด้วยวัสดุกรองแบบแยกส่วน [12] เป็นการรวมวัสดุกรองในรูปแบบของเมมเบรนที่มีขนาดรูพรุนแตกต่างกันวางซ้อนทับกัน ได้แก่ ตาข่ายขนาดรูพรุน 1 มิลลิเมตร ชั้นเยื่อบาง 0.05 มิลลิเมตร ชั้นเยื่อบาง 0.001 มิลลิเมตร และชั้นกรองที่ทำมาจากวัสดุสังเคราะห์ชนิดโพลีเอไมด์ขนาด 0.0001 ไมโครเมตร เพื่อดักกรองสิ่งสกปรกและอนุภาคโลหะหนักออกจากน้ำบาดาล กระบวนการนี้ทำงานโดยใช้ความดันดันน้ำผ่านเมมเบรน (ทิศทางการน้ำเข้า) ซึ่งจะปล่อยให้ น้ำสะอาดซึมผ่านเข้าไปในท่อแกนกลางที่เจาะรูให้น้ำสะอาดไหลผ่าน แล้วน้ำสะอาดจะไหลออก (น้ำผ่านการบำบัดออก) ขณะที่สิ่งปนเปื้อนขนาดใหญ่กว่าจะถูกกักไว้ไหลขนานกับทิศทางการม้วนตัวของเมมเบรนรวมแล้วไหลออก (ทิศทางการน้ำเสียออก) เป็นน้ำทิ้ง ดังภาพที่ 1 ทั้งนี้ ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ปั๊ม

น้ำเพื่อให้เกิดแรงดันของน้ำผ่านชั้นเมมเบรนและวาล์วปรับแรงดันที่ตรวจวัดแรงดันของน้ำขณะใช้งาน



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบและการทำงานของเมมเบรนรวม

2. การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลเพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำดื่มในพื้นที่ศึกษาจำนวน 2 แห่ง ได้แก่ บ้านโชคอำนวย และบ้านโนนม่วง อำเภอพิบูลย์มังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี จากบ่อบาดาลก่อนเข้าสู่ถังเก็บน้ำเพื่อการบริโภค เพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำดื่มจากเครื่องกรองน้ำที่ใช้อยู่เดิม โดยเปิดน้ำทิ้งไว้ประมาณ 3-5 นาทีเพื่อไล่ น้ำที่ค้างอยู่ในระบบออก ใช้ตัวอย่างน้ำกลั้วขวดเก็บตัวอย่างก่อนบรรจุตัวอย่างน้ำในขวดโดยให้ขวดสัมผัสกับน้ำโดยตรง เติมน้ำกลั่นเสีย (HNO_3) เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่าง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C และทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำภายใน 48 ชั่วโมง



(ก) บ้านโชคอำนวย



(ข) บ้านโนนม่วง

ภาพที่ 2 ระบบกรองน้ำที่ใช้อยู่เดิม

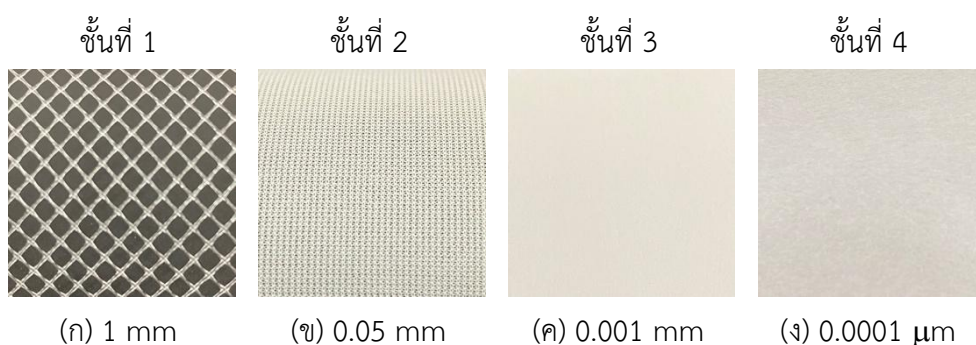
นำตัวอย่างน้ำดิบและน้ำที่ผ่านการกรองด้วยระบบกำจัดโลหะหนักในน้ำบาดาล ชนิดรวมเมมเบรนหลังการใช้งาน ได้แก่ 1) น้อยกว่า 100 ลิตร 2) ประมาณ 2,500 ลิตร 3) ประมาณ 5,000 ลิตร 4) ประมาณ 7,500 ลิตร และ 5) ประมาณ 10,000 ลิตร มาวิเคราะห์คุณภาพตามดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำตามน้ำตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคโดย องค์การอนามัยโลก พ.ศ. 2539 [15] ได้แก่ 1) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้ pH Meter 2) ความกระด้าง (dGH) ด้วยวิธี ETDA Titrimetric 3) ของแข็งละลายน้ำ (TDS) ด้วยวิธี Gravimetric 4) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ด้วยวิธี Gravimetric 5) ไนเตรต (NO_3^-) ด้วยวิธี Spectrophotometry 6) คลอไรด์ (Cl^-) ด้วยวิธี Argentometry 7) เหล็กไอออน (Fe^{2+}) ด้วยวิธี Phenanthroline และ 8) แมงกานีสไอออน (Mn^{2+}) ด้วยวิธี Persulfate ตาม ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเรื่องกำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการ ในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็น พิษ พ.ศ. 2551

ทั้งนี้ เหล็กและแมงกานีสในน้ำมักอยู่ในรูปของไอออนโลหะหนัก Fe^{2+} และ Mn^{2+} ซึ่งเกิดจากการละลายของแร่ธาตุในธรรมชาติเหล่านี้ละลายน้ำได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ แต่จะเกิดการออกซิไดซ์ในสภาวะที่มีออกซิเจนสูง โดยเหล็กอาจทำให้น้ำมีสีเหลืองหรือน้ำตาลแดง ส่วนแมงกานีสอาจทำให้น้ำมีสีดำหรือคล้ำ หากมีปริมาณสูงจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพ น้ำ เช่น ทำให้เกิดคราบสนิม รสชาติหรือกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ และอาจสะสมจนเกิดผลเสีย ต่อร่างกาย

ผลการศึกษา

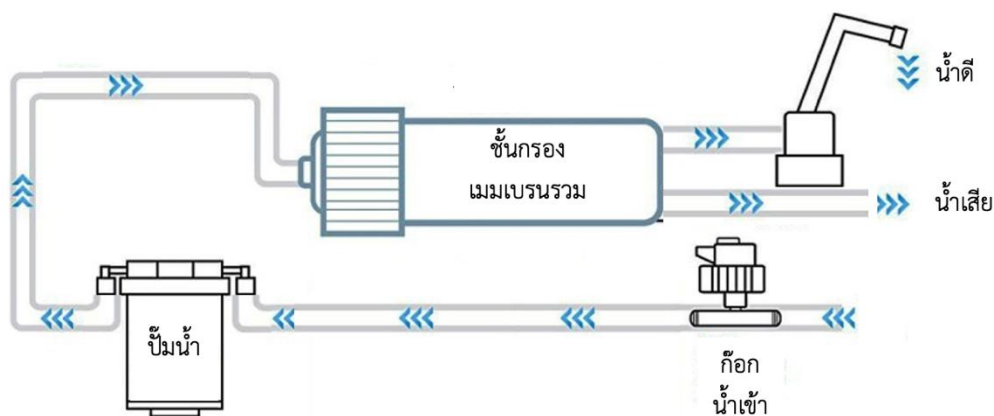
1. ระบบการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยเมมเบรนรวม

การออกแบบเมมเบรนรวมในการศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพการกรองโลหะหนักด้วยเมมเบรนที่มีรูพรุนที่ขนาดเหมาะสมกับการกรองสิ่งปนเปื้อนโดยเฉพาะโลหะหนักที่พบในปริมาณมากในน้ำบาดาล ผลิตขึ้นจากวัสดุสังเคราะห์โพลีเอไมด์ (Polyamide, PA) เป็นวัสดุสมรรถนะสูงในการกำจัดสารปนเปื้อน เช่น ไอออนของโลหะหนัก แร่ธาตุ และสารอินทรีย์ มีความสามารถในการกรองระดับนาโน (Nano-filtration) ที่มีความทนต่อความดันระหว่างการกรอง และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เพื่อให้การใช้งานคุ้มค่าในระยะยาว [16]



ภาพที่ 3 ลักษณะของเมมเบรนสำหรับกำจัดโลหะหนักในน้ำบาดาลตามลำดับชั้น

ภาพที่ 3 แสดงส่วนประกอบของชั้นเมมเบรน (ก) แบบตาข่ายขนาดรูพรุน 1 มิลลิเมตร (ข) ชั้นเยื่อบาง 0.05 มิลลิเมตร (ค) ชั้นเยื่อบาง 0.001 มิลลิเมตร และ (ง) ชั้นกรองที่ทำมาจากวัสดุสังเคราะห์ ขนาด 0.0001 ไมโครเมตร วางซ้อนทับกันแล้วม้วนเป็นจำนวน 20 ชั้น เกิดเป็นชั้นเมมเบรนทั้งหมด 80 ชั้น รอบแกนพลาสติกเจาะรูให้น้ำดีผ่านบรรจุไว้ในกระบอกกรองน้ำ ในระบบกรองน้ำมาตรฐานอีกชั้นหนึ่ง



ภาพที่ 4 การติดตั้งและใช้งานเมมเบรนรวมกรองน้ำ

ภาพที่ 4 แสดงน้ำดิบไหลเข้าสู่ชั้นเมมเบรน อนุภาคโลหะหนักที่มีขนาดใหญ่กว่าความกว้างของรูตาข่ายจะถูกดักจับไว้ในชั้นเมมเบรน เหลือเพียงน้ำบริสุทธิ์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าซึมผ่าน [17] เข้าไปสู่แกนกลางชั้นในที่บรรจุท่อพลาสติกเจาะรูให้น้ำไหลผ่าน แล้วไหลออกมาทางท่อแกนกลาง น้ำเสียส่วนหนึ่งที่มีอนุภาคโลหะหนักปะปนอยู่จะไหลออกมาทางด้านข้างของเมมเบรนในชั้นตาข่าย โดยกระบวนการดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยแรงดันของน้ำไม่น้อยกว่า 4 บาร์ [18] เพื่อสร้างแรงดันให้น้ำไหลผ่านชั้นเมมเบรนรวมเพื่อกรองเป็นน้ำสะอาดไหลออกทางท่อน้ำผ่านการบำบัด

2. คุณภาพน้ำ

วิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบตามมาตรฐานน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2542) จากตัวอย่างน้ำบาดาลดิบตกตะกอน 24 ชั่วโมง จำนวน 5 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพ แสดงคุณภาพน้ำดิบได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำดิบ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	บ้านโชคอำนวย	บ้านโนนม่วง	ค่ามาตรฐาน*	หน่วย
ความเป็นกรด-ด่าง	8.1 (± 1.3)	7.8 (± 1.2)	6.5-8.5	-
ความกระด้าง	145 (± 8)	150 (± 11)	< 500	(mg/L)
ของแข็งละลายน้ำ	55.67 (± 0.85)	56.89 (± 1.03)	< 1000	(mg/L)
SO ₄ ²⁺	19 (± 4)	18 (± 3)	< 250	(mg/L)
NO ₃ ⁻	59** (± 6)	65** (± 3)	< 50	(mg/L)
Cl ⁻	19 (± 2)	18 (± 5)	< 250	(mg/L)
Fe ²⁺	0.45** (± 0.12)	0.38** (± 0.07)	< 0.3	(mg/L)
Mn ²⁺	0.18** (± 0.06)	0.29** (± 0.08)	< 0.1	(mg/L)

หมายเหตุ * ค่ามาตรฐานน้ำบริโภคโดยองค์การอนามัยโลก พ.ศ. 2539

** ไม่ผ่านค่ามาตรฐาน

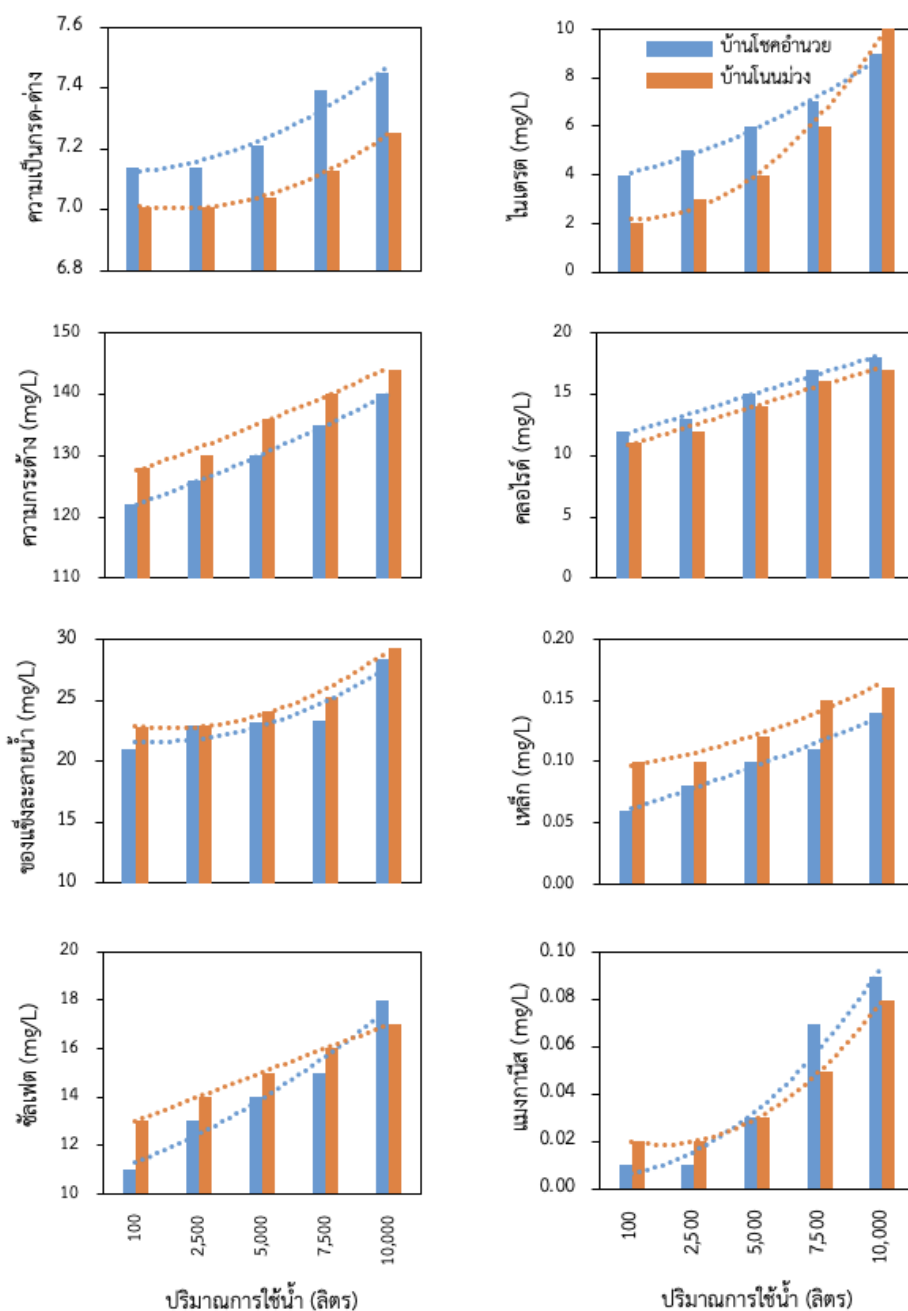
พิจารณาคุณภาพน้ำดิบจำแนกตามดัชนีคุณภาพ แสดงให้เห็นว่า น้ำดิบจากบาดาลในพื้นที่อำเภอพิบูลมังสาหาร มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ความกระด้าง ปริมาณของแข็งละลายน้ำ ซัลเฟต และคลอไรด์ จากทั้งสองแหล่งมีค่าตามมาตรฐาน ส่วนปริมาณไนเตรต เหล็ก และแมงกานีส มีค่าสูงเกินมาตรฐานที่กำหนดตามมาตรฐานน้ำบริโภคโดยองค์การอนามัยโลก พ.ศ. 2539

จากนั้นนำน้ำดิบผ่านการกรองด้วยระบบกำจัดโลหะหนักในน้ำบาดาลชนิดเมมเบรนรวม เพื่อพิจารณาคุณภาพน้ำดิบจำแนกตามดัชนีคุณภาพ แบ่งเป็น 5 ระยะ ได้แก่ 1) น้อยกว่า 100 ลิตร 2) ประมาณ 2,500 ลิตร 3) ประมาณ 5,000 ลิตร 4) ประมาณ 7,500 ลิตร และ 5) ประมาณ 10,000 ลิตร กรณีละ 5 ตัวอย่าง ได้ค่าคุณภาพน้ำดิบจำแนกตามดัชนีแสดงดังตารางที่ 2

น้ำดิบที่ผ่านการกรองด้วยระบบกำจัดโลหะหนักในน้ำบาดาลชนิดเมมเบรนรวมมีค่าดัชนีคุณภาพน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกดัชนี แต่เมื่อมีปริมาณการใช้งานเพิ่มมากขึ้น ดัชนีคุณภาพน้ำจะมีคุณภาพลดลงในทุกตัวชี้วัด และเมื่อปริมาณการใช้น้ำสูงถึงประมาณ 10,000 ลิตร ปริมาณแมงกานีสจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเกือบถึงระดับที่ยอมรับได้

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำตามระยะเวลาการใช้งาน

พื้นที่	ปริมาณ การใช้น้ำ (L)	ดัชนีคุณภาพน้ำ							
		pH	Hardness (mg/L)	TDS (mg/L)	SO ₄ ²⁺ (mg/L)	Cl ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	Mn ²⁺ (mg/L)
บ้านโศดอ้าย	น้ำดิบ	8.11	145	55.67	19	19	59	0.45	0.18
	<100	7.15	122	21.27	11	12	4	0.06	0.01
	~2,500	7.14	126	23.73	13	13	5	0.08	0.01
	~5,000	7.21	130	23.26	14	15	6	0.10	0.03
	~7,500	7.39	135	23.43	15	17	7	0.11	0.07
	~10,000	7.45	140	28.45	18	18	9	0.14	0.09
บ้านโนนม่วง	น้ำดิบ	7.83	150	56.89	18	17	65	0.38	0.29
	<100	7.01	128	22.78	13	11	2	0.10	0.02
	~2,500	7.01	130	22.98	14	12	3	0.11	0.02
	~5,000	7.04	136	24.15	15	14	4	0.12	0.03
	~7,500	7.13	140	25.36	16	16	6	0.15	0.05
	~10,000	7.25	144	29.32	17	17	10	0.16	0.08
ค่ามาตรฐาน		6.5-8.5	<500	<1000	<250	<250	<50	<0.30	<0.10



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำตามปริมาณการใช้งานจากบ้านโนนม่วง (สีส้ม) และบ้านโชคอำนาย (สีฟ้า)

ภาพที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีคุณภาพน้ำตามระยะเวลาการใช้งาน จำแนกตามตัวชี้วัดจากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 2 โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำผ่านการกรองมีค่า 7.01-7.45 ซึ่งมีความเป็นกลางมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำดิบที่มีความเป็นด่าง เนื่องจากการกรองด้วยเมมเบรนรวมช่วยกรองแร่ธาตุที่เป็นต่างออกไป และความเป็นด่างจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการใช้งานระบบที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

ความกระด้างของน้ำที่ปริมาณ 122-144 mg/L ผ่านการกรองมีค่าตามเกณฑ์มาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าเมมเบรนรวมมีความสามารถในการกรองแร่ธาตุจำพวกแคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ที่ละลายอยู่ในน้ำได้ด้วยเมมเบรนที่มีขนาดรูพรุน 0.0001 ไมโครเมตร จึงเพียงพอที่จะกรองไอออนของแร่ธาตุเหล่านี้ออกจากน้ำได้

ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายในน้ำทั้งในน้ำดิบตกตะกอนและน้ำที่ผ่านการกรองมีปริมาณ 21.27-29.32 mg/L ถือว่าค่าน้อยมากเมื่อเทียบตามเกณฑ์มาตรฐาน รวมถึงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายในน้ำยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ปริมาณซัลเฟต 11-18 mg/L และคลอไรด์ 11.18 mg/L ที่มีอยู่ในน้ำดิบเดิมมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานมากเช่นเดียวกับน้ำที่ผ่านการกรอง แต่ปริมาณซัลเฟต และคลอไรด์ในน้ำลดลงน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่พบในน้ำดิบ แสดงให้เห็นว่า ระบบกรองแบบเมมเบรนรวม สามารถลดปริมาณซัลเฟตและคลอไรด์ในน้ำดิบได้ แต่ระบบกรองไม่สามารถแสดงประสิทธิภาพออกมาได้อย่างเด่นชัด เนื่องจากปริมาณซัลเฟต และคลอไรด์ในน้ำดิบมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนการกรอง

ปริมาณไนเตรตในน้ำกรองมีค่า 2-10 mg/L อยู่ในมาตรฐานเมื่อผ่านการกรองจากเดิมที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าระบบเมมเบรนรวมมีประสิทธิภาพในการกรองไนเตรตได้เป็นอย่างดีรวมถึงปริมาณไนเตรตที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ปริมาณการใช้น้ำมากขึ้นแสดงให้เห็นว่าเมมเบรนรวมมีอายุการใช้งานที่ยาวนานสำหรับการกรองไนเตรตจากน้ำบาดาล

ปริมาณเหล็กในน้ำดิบมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานแม้ว่าจะผ่านระยะเวลาการตกตะกอนมาแล้ว ส่วนน้ำที่ผ่านการกรองมีปริมาณเหล็กลดลงเหลือเพียง 0.06-0.16 mg/L และจะมีปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นเกินครึ่งหนึ่งของค่ามาตรฐานเมื่อปริมาณการใช้น้ำสูงขึ้น

ปริมาณแมงกานีสในน้ำดิบที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มีปริมาณเหลือเพียง 0.01-0.09 mg/L พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเมื่อกรองด้วยเมมเบรนรวม แต่เมื่อปริมาณการใช้น้ำสูงถึงประมาณ 10,000 ลิตร แมงกานีสจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจนเกือบถึงระดับที่ยอมรับได้

ภายหลังการใช้งานเมมเบรนรวมที่ปริมาณการใช้งานประมาณ 10,000 ลิตร เมมเบรนจะอยู่ในสภาพเกาะติดกัน ไม่สามารถลึ่ขึ้นเยื่อบางแต่ละชั้นออกจากเมมเบรนชั้นตาข่ายได้ เนื่องจากมีของเสียที่ไม่ผ่านการกรองติดอยู่ในปริมาณมาก ส่งผลให้ไม่สามารถนำเมมเบรนรวมกลับมาทำความสะอาดและใช้ซ้ำได้อีกครั้ง

วิจารณ์

ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบรวมเมมเบรน เป็นการนำนวัตกรรมเมมเบรนมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักจากน้ำบาดาล โดยวัสดุที่ใช้ในระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำสำหรับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยชั้นเมมเบรนแบบตาข่ายที่มีขนาดรูพรุนแตกต่างกัน 4 ชั้น ได้แก่ เมมเบรนชั้นตาข่าย 1 มิลลิเมตร ชั้นเยื่อบาง 0.05 และ 0.001 มิลลิเมตร และชั้นกรองที่ทำมาจากวัสดุสังเคราะห์ 0.0001 ไมโครเมตร วางซ้อนทับแล้วม้วนกันอยู่จำนวน 20 ชั้น เกิดเป็นชั้นเมมเบรนกรองน้ำจำนวน 80 ชั้น พันรอบแกนพลาสติกเจาะรูบรรจุในกระบอกพลาสติกควบคุมกระแสการไหลของน้ำแบบขนาน ทำงานร่วมกับปั้มน้ำขนาด 4 บาร์ สำหรับสร้างแรงดันน้ำให้ไหลผ่านเยื่อเมมเบรน

กระบวนการกำจัดโลหะหนักด้วยเมมเบรนรวมอาศัยหลักการดันน้ำผ่านเยื่อกรองที่มีรูพรุนขนาดเล็กมาก (0.0001 ไมโครเมตร) ด้วยแรงดันสูง ทำให้โลหะหนัก ได้แก่ ไอออนเหล็ก และไอออนแมงกานีส รวมถึง ซัลเฟต ไนเตรต และคลอไรด์ ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเมมเบรนถูกกักไว้ในน้ำทิ้ง กลไกการกำจัดเกิดจากการดักจับทั้งจากขนาด และประจุ ทำให้สามารถแยกไอออนโลหะหนักและสารปนเปื้อนออกจากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงถึง 90-99% ผลลัพธ์คือการได้น้ำบริสุทธิ์ที่เหมาะสมสำหรับการบริโภคหรือใช้งาน

เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการกรองแบบดั้งเดิม พบว่า เมมเบรนรวมที่มีรูพรุนขนาดเล็กถึง 0.0001 ไมโครเมตร ทำให้สามารถกำจัดโลหะหนัก และสารปนเปื้อนระดับนาโนได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง เหมาะสำหรับการผลิตน้ำบริสุทธิ์ แต่ต้องใช้แรงดันสูงและมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าระบบกรองแบบดั้งเดิมที่มีรูพรุนใหญ่กว่า (0.1-5.0 ไมโครเมตร) ซึ่งเหมาะ

สำหรับการกำจัดตะกอนหรืออนุภาคขนาดใหญ่ในน้ำ โดยมีต้นทุนและการดูแลรักษาต่ำกว่า แต่ไม่สามารถกรองไอออนหรือโลหะหนักที่ละลายในน้ำได้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำจากบ่อบาดาลบ้านโชคอำนวย และบ้านโนนม่วง อำเภอพิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี เปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค โดยองค์การอนามัยโลก พ.ศ. 2539 พบว่า น้ำดิบที่ผ่านการตกตะกอนมีปริมาณเหล็กและแมงกานีสสูงกว่าค่ามาตรฐาน แต่เมื่อนำมากรองด้วยเมมเบรนรวมแล้ว ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความกระด้าง ของแข็งละลายน้ำ ซัลเฟต ไนเตรต คลอไรด์ เหล็ก และแมงกานีส เมื่อผ่านการใช้งานไปกว่า 10,000 ลิตร พบว่า ความเป็นกรด-ด่าง มีค่า 7.25 - 7.45 ความกระด้างมีค่า 140 - 144 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแข็งละลายน้ำมีค่า 28.45 - 29.32 มิลลิกรัมต่อลิตร ซัลเฟตมีค่า 17 - 18 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรตมีค่า 9 - 10 มิลลิกรัมต่อลิตร คลอไรด์มีค่า 17 - 18 มิลลิกรัมต่อลิตร เหล็กมีค่า 0.14 - 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร และแมงกานีสมีค่า 0.09 - 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคโดยองค์การอนามัยโลก พ.ศ. 2539 กำหนดทุกดัชนี

จึงสามารถกล่าวได้ว่าระบบกำจัดโลหะหนักในน้ำบาดาลแบบเมมเบรนรวมจากการวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำบาดาล ที่ปริมาณการใช้งาน 10,000 ลิตร ให้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคโดยองค์การอนามัยโลก พ.ศ. 2539 ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

สรุป

ระบบกำจัดโลหะหนักในน้ำบาดาลแบบเมมเบรนรวมจากการวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำบาดาลในพื้นที่บ้านโชคอำนวย และบ้านโนนม่วง อำเภอพิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี ให้มีคุณลักษณะทางเคมีและทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการบริโภค ตามดัชนีมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคตามดัชนีคุณภาพน้ำกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ความกระด้าง ของแข็งละลายน้ำ ซัลเฟต ไนเตรต คลอไรด์ เหล็ก และแมงกานีส โดยเฉพาะสามารถลดปริมาณโลหะหนักในน้ำบาดาลได้ 86.7% สำหรับเหล็ก และ 96.6% สำหรับแมงกานีส โดยใช้เมมเบรนที่มีขนาดรูพรุนแตกต่างกัน ได้แก่ ขนาดขाय 1 มิลลิเมตร ขึ้นเยื่อบาง 0.05 และ 0.001 มิลลิเมตร และชั้นกรองที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์ 0.0001 ไมโครเมตร พันรอบแกน

พลาสติกเจาะรูทำงานร่วมกับปั้มน้ำขนาด 4 บาร์เพื่อสร้างแรงดันในการกำจัดโลหะหนักในน้ำบาดาลให้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อให้ประชาชนในชุมชนได้ใช้ประโยชน์จากทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้โครงการโครงการวิจัยและนวัตกรรมจากการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ หลักสูตรการเขียนข้อเสนอโครงการวิจัยที่สอดคล้องกับการวิจัยและนวัตกรรมในมิติใหม่ รุ่นที่ 3 ประจำปี พ.ศ. 2566

เอกสารอ้างอิง

1. กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2566. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2566.
2. บุปผา โตภาคงาม. ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. พิมพ์ครั้งที่ 2. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2549.
3. ธีรสร จิรเสถียรพร, ชนกานต์ สุกุลแถว, ชนิต์ โชคเจริญรัตน์, คณิศร์วี เตชะเอื้อย, สมักร สุจริต, ชัยณรงค์ สุกุลแถว. การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำบาดาล. วารสารวิทยาศาสตร์สุขภาพสัตว์และเทคโนโลยี. 2019;3(2):16-23.
4. Egli M, Zhang M-G, Plötze M, Tema E, Mohammadi M, Wang Q-B. Soil development trajectories, chemical weathering and pedogenic mineral (trans)formation on glauconitic calcarenites in a Mediterranean area. Catena. 2024;243:108177. doi:10.1016/j.catena.2024.108177
5. Han W, Pan Y, Welsch E, Liu X, Li J, Xu S. Prioritization of control factors for heavy metals in groundwater based on a source-oriented health risk assessment model. Ecotoxicol Environ Saf. 2023 Nov 15;267:115642. doi:10.1016/j.ecoenv.2023.115642
6. Lima VHS, Moura JP, Pissarra TCT, do Valle Junior RF, Silva M de M, Valera CA, et al. Groundwater flow and transport of metals under deposits of

- mine tailings: A case study in Brumadinho, Minas Gerais, Brazil. *Stud Chem Environ Eng.* 2024 Jun;9:100690. doi:10.1016/j.cscee.2024.100690
7. Zhao M, Zhou X, Li Z, Xu G, Li S, Feng R, et al. The dynamics and removal efficiency of antibiotic resistance genes by UV-LED treatment: An integrated research on single- or dual-wavelength irradiation. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2023 Sep 15;263:115212. doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.115212
 8. Brandhuber P, Amy G. Alternative methods for membrane filtration of arsenic from drinking water. *Desalination.* 1998;117(1):1–10. doi:10.1016/S0011-9164(98)00061-7
 9. Daneluz J, da Silva GF, Duarte J, Turossi TC, dos Santos V, Baldasso C, et al. Membrane separation process of microfiltration applied to the filtration of kombuchas. *Food Chem Adv.* 2023 Dec;3:100451. doi:10.1016/j.focha.2023.100451
 10. Rizqi RA, Hartono YV, Shalahuddin I, Nugroho WA, Bilad MR, Arif C, et al. Green synthesis of polyvinylidene fluoride ultrafiltration membrane with upgraded hydrophilicity. *Results Mater.* 2023 Sep;19:100417. doi:10.1016/j.rinma.2023.100417
 11. Rychlewska K, Wodzistawska-Pasich K. Selection of membrane for production of drinking water from surface and groundwater by nanofiltration. *Desalination Water Treat.* 2024 Apr;318:100355. doi:10.1016/j.dwt.2024.100355
 12. Geraldés V, Henriques P, Afonso MD, Alves AM, Pires RF, Faria M, et al. Designing centrifugal membrane filters with uniform-pressure for UF/NF/RO separations. *J Memb Sci.* 2024;702:122752. doi:10.1016/j.memsci.2024.122752
 13. Baker RW. *Membrane technology and applications.* 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley; 2024.

14. กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2545.
15. World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality. [Internet]. 4th ed. Geneva: World Health Organization; 2017. [cited 2025 Dec 19]. Available from: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/1b7a285e-3635-45dd-a1a9-6068c8fbe173/content>
16. Song Y, Zhang Y, Yang H. A low-cost surface modified battery-used polyethylene membranes for reverse osmosis applications. Mater Res Innov. 2023 Jul;27(5):348–54. doi:10.1080/14328917.2022.2160894
17. Benladghem Z, Seddiki SML, Dergal F, Mahdad YM, Aissaoui M, Choukchou-Braham N. Biofouling of reverse osmosis membranes: assessment by surface-enhanced Raman spectroscopy and microscopic imaging. Biofouling. 2022 Sep;38(8):852–64. doi:10.1080/08927014.2022.2139610
18. Alnajdi S, Beni NA, Alsaati AA, Luhar M, Childress AE, Warsinger DM. Practical minimum energy use of seawater reverse osmosis. Joule, 2024 Nov 20;8(11):3088–3105. doi:10.1016/j.joule.2024.08.005