

Received: May 2, 2023; Revised: September 6, 2023; Accepted: October 1, 2023

ผลของอัตราการทางชลศาสตร์และอัตราการบรรทุกทางชลศาสตร์ต่อประสิทธิภาพ
การกรองน้ำบาดาลจากชุดเครื่องกรองน้ำบาดาล
Effects of hydraulic loading rate and organic loading rate on filter efficiency
of groundwater by filter series reactor system

รัฐพล สุขสมบุญ^{1*} และพุทธรณีย์ บุญมาก²
Rattapol Suksomboon^{1*} and Phuttaphanee Boonmak²

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

¹Faculty of Engineering, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham Province

²คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด

²Faculty of Liberal Arts and Science, Rajabhat Roi Et University, Roi Et Province

*Corresponding Author Email Address: Rpol9@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดเครื่องกรองน้ำบาดาลตัวถังพีวีซี (Filter Series Reactor of Groundwater; FSRG) จากท่อพีวีซี (PVC) มีทิศทางการไหลลงจากบนลงล่าง จำนวน 3 ถังต่อเรียงกัน ซึ่งระบบประกอบด้วย ถังที่ 1 ถังปฏิกรณ์แมงกานีส ถังที่ 2 ถังปฏิกรณ์เรซิน และถังที่ 3 ถังปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter; D) 0.10 เมตร ความลึกชั้นกรองที่ 1 เมตรมีอัตราส่วนความกว้าง:ความยาว (<1:4) แต่ละถังมีพื้นที่ (Area; A) 86.55×10^{-4} ตารางเมตร พบว่าที่อัตราไหลเข้า (Q-in) 0.20 ลูกบาศก์เมตร/วันที่ระยะเวลากักพักลดลง (Hydraulic Retention Time; HRT) เท่ากับ 0.04 วัน แต่เกิดการลดของอัตราการทางชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate; HLR) เท่ากับ 0.17×10^{-2} เมตร/วัน และอัตราการบรรทุกทางชลศาสตร์ (Organic Loading Rate; OLR) เท่ากับ 3.46×10^{-2} กิโลกรัม-เหล็ก/ลูกบาศก์เมตร/วัน และ 4.57 กิโลกรัม-ความกระด้าง/ลูกบาศก์เมตร/วันของระบบ FSRG มีประสิทธิภาพสูงสุด ในกำจัดค่าเหล็ก (Fe) และความกระด้าง (CaCO_3) ถึง 73.33% และ 80.00% ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามระบบ FSRG ควรติดตั้งระบบรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse osmosis) ร่วมเพื่อความสะดวกของน้ำมากขึ้น

คำสำคัญ: สมบัติทางกายภาพ น้ำบาดาล เครื่องกรองน้ำ

Abstract

The objective of this study was to develop the Filter Series Reactor of Groundwater (FSRG) from PVC pipes with a downward flow direction from top to bottom. The system consists of reactor 1 manganese reactor. The reactor 2 is a resin reactor tank and the reactor 3 is an activated carbon reactor. FSRG has a diameter of 0.10 meters. Filter layer depth at 1 meters. It has a width ratio:length (<1:4), each tank has an area of 86.55×10^{-4} square meters. It was found that at an inflow rate (Q-in) of 0.20 cubicmeters/day, at hydraulic retention time (HRT) of 0.04 days, hydraulic loading rate (HLR) was 0.17×10^{-2} meters/day and Organic Load Rate (OLR) is 3.46×10^{-2} kg-Fe/m³-day, 4.57 kg-CaCO₃/m³-day and effective in removing iron (Fe) and hardness (CaCO₃) to 73.33% and 80.00%, respectively. However, the FSRG system should hybrid a reverse osmosis system for more clean water.

Keywords: Physical properties, Groundwater, Water filter

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศเพราะน้ำเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นต่อการดำรงชีวิต ปัจจุบันประชากรของโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและสังคมก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ความต้องการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้นซึ่งน้ำที่มีอยู่ในโลกนี้ ส่วนมากจะอยู่ในมหาสมุทรประมาณร้อยละ 97 ส่วนน้ำในแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดินที่สามารถนำมาใช้ได้นั้นมีเพียงร้อยละ 0.63 เท่านั้นนอกนั้นเป็นน้ำแข็งอยู่ที่ขั้วโลก (Simons and Wellnitz, 2003) น้ำที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นน้ำที่ได้จากฝนที่ตกลงสู่พื้นโลกในขณะที่น้ำฝนตกลงผ่านบรรยากาศของโลก ซึ่งละลายเอาก๊าซและสารต่าง ๆ ในบรรยากาศไว้ด้วยรวมทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่เป็นสาเหตุ ทำให้น้ำไม่บริสุทธิ์ก่อให้เกิดปัญหาเมื่อนำน้ำมาใช้ประโยชน์ น้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำสำคัญที่มีการพัฒนาขึ้นมาใช้เพื่ออุปโภค บริโภค เกษตรกรรมปศุสัตว์และอุตสาหกรรมชั้นน้ำบาดาลเป็นชั้นหิน หรือชั้นตะกอนที่มีสมบัติยอมให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างตะกอนกว้าง หรือมีโพรงหรือรอยแตกต่อเนื่องกัน จึงทำให้เก็บน้ำไว้ได้เป็นปริมาณมากจนกลายเป็นน้ำใต้ดิน (วิชัย, 2552) ซึ่งเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติแหล่งหนึ่งที่ให้ปริมาณน้ำได้มาก แต่มักมีปัญหาในเรื่องคุณภาพทางด้านกายภาพ ซึ่งมีแร่ธาตุ ชนิดต่าง ๆ เจือปนอยู่ในระดับเกินมาตรฐาน อีกทั้งมีปริมาณเหล็กและแมงกานีสสูง การที่น้ำบาดาลมีความกระด้าง เหล็ก และแมงกานีสสูงจะทำให้เกิดผลเสียหลาย กล่าวคือ น้ำจะมีสีเหลืองหรือสีแดง มีรส และมีกลิ่นซึ่งก่อให้เกิดคราบตามภาชนะ สุขภัณฑ์ และอุปกรณ์ต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ตาม หากมีขบวนการการปรับปรุงที่เหมาะสมน้ำบาดาลก็จะเป็นน้ำที่มีคุณภาพที่จะนำไปใช้ในการบริโภคได้ จากรายงานคุณภาพน้ำดื่มต้องมีค่ามาตรฐานของเหล็ก (Fe) ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร และความกระด้าง (CaCO₃) ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/ลิตร จะทำให้น้ำมีคุณภาพและไม่มีผลเชิงลบต่อสุขภาพ น้ำกระด้างคือน้ำที่มีแคลเซียมและแมกนีเซียมปนอยู่ซึ่งธาตุทั้งสองนี้มีผลต่อสุขภาพ คือ แคลเซียมจะมีส่วนช่วยในการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยเฉพาะกล้ามเนื้อหัวใจเป็นตัวเร่งการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดในร่างกายมนุษย์ ช่วยรักษาสมาดุลต่างในร่างกาย และช่วยป้องกันการเกิดโรคกระดูกพรุนส่วนแมกนีเซียมจะมีส่วนช่วยในการคลายตัวของกล้ามเนื้อโดยเฉพาะกล้ามเนื้อหัวใจ ซึ่งต้องทำงานร่วมกับแคลเซียม เป็นตัวเร่งให้กับเอนไซม์ซึ่งมีหน้าที่เผาผลาญ อาหาร แป้ง น้ำตาล และไขมัน เป็นองค์ประกอบของเลซิทีน (Lecitin) ป้องกันไม่ให้คลอเลสเตอรอลในเลือดสูงขึ้น รวมถึงป้องกันการเกิดนิ่วเนื่องจากการจับตัวของแคลเซียมออกซาเลต (Calcium oxalate) ในไตและถุงน้ำดี (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2562)

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้คิดค้นการปรับปรุงคุณภาพของน้ำบาดาลด้วยชุดเครื่องกรองน้ำบาดาลตัวถังพีวีซี (Filter Series Reactor of Groundwater; FSRG) ระบบตัวถังทำจากวัสดุพีวีซี (PVC) ที่หาได้ง่ายภายในท้องถิ่นและประหยัดค่าใช้จ่าย นำมาใช้ในการกระบวนการผลิตน้ำอุปโภคบริโภคใช้ในชุมชน ระบบจะถูกเชื่อมต่อบนอนุกรม โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1 คือถังปฏิกรณ์แมงกานีส (Reactor1 of Manganese; R1_{Mg}) ใช้กำจัดเหล็ก (Fe) ที่ทำให้เกิดกลิ่นคาว ถังปฏิกรณ์ที่ 2 คือถังปฏิกรณ์เรซิน (Reactor2 of Resins; R2_{Rs}) ใช้กำจัดความกระด้าง (CaCO₃) ทำให้เกิดรสชาติไม่พึงประสงค์ เกิดตะกอนอุดตันท่อ และถังปฏิกรณ์ที่ 3 คือ ถังปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Reactor 3 of Granular Activated Carbon; R3_{GAC}) ใช้กำจัดกลิ่นก่อนนำน้ำไปใช้อุปโภคบริโภคซึ่งวิธีการดังกล่าว ทำให้น้ำบาดาลมีความบริสุทธิ์มากขึ้นสามารถลดจำนวนเหล็ก (Fe) และความกระด้าง (CaCO₃) ที่อยู่ในน้ำบาดาล

ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้เห็นความสำคัญของการนำน้ำบาดาลมาใช้เพื่ออุปโภคและบริโภคในเขตพื้นที่หมู่ที่ 1 บ้านพระยีน ตำบลพระยีน อำเภอพระยีน จังหวัดขอนแก่น ซึ่งยังประสบปัญหาปริมาณเหล็ก (Fe) และความกระด้าง (CaCO₃) ค่อนข้างสูงในน้ำบาดาล โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพ และประสิทธิภาพในการกำจัดค่าเหล็ก (Fe) และความกระด้าง (CaCO₃) ที่เวลาในการกักเก็บ (Hydraulic Retention Time; HRT) อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate; HLR) และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate; OLD) ของระบบ FSRG เพื่อให้ผ่านข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพของน้ำมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคได้ (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551)

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ในการทดสอบระบบ FSRG จำนวน 3 ถังต่อเรียงกันทำจากท่อพีวีซี ตัวถังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 0.10 เมตร ความสูงระดับน้ำล้นที่ (Over flow) 1.25 เมตร มีอัตราส่วนความกว้าง:ความยาว (<1:4) แต่ละถังมีพื้นที่ (Area, A) 0.008655 ตร.ม. (Suksomboon et al., 2019)

1. พื้นฐานของระบบ FSRG

1.1) ถังปฏิกรณ์ที่ 1 คือ ถังปฏิกรณ์แมงกานีส (Reactor 1 of Manganese, R1_{Mg}) เป็นถังแรกในการกระจายน้ำบาดาลเข้าโดยมีทิศการไหลจากบนลงล่าง (Drown flow) ภายในถังบรรจุสารกรองแมงกานีสจะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงค่าเหล็กด้วยการเติมอากาศและการตกตะกอน (Xing et al., 2017)

1.2) ถังปฏิกรณ์ที่ 2 คือ ถังปฏิกรณ์เรซิน (Reactor 2 of Resins, R2_{Rs}) มีทิศการไหลจากบนลงล่าง (Drown flow) ภายในถังบรรจุสารกรองเรซินจะทำหน้าที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความกระด้างทั้งหมด (Total hardness as CaCO₃) ได้ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange resins) (Burger et al., 2017)

1.3) ถังปฏิกรณ์ที่ 3 คือ ถังปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Reactor 3 of Granular Activated Carbon; R3_{GAC}) มีทิศการไหลจากบนลงล่าง (Drown flow) ภายในถังบรรจุสารกรองถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (GAC) จะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงค่าเหล็ก และค่าความกระด้างทั้งหมดด้วยการดูดซับ (Suksomboon et al., 2019)

2. การเก็บตัวอย่างและการวัดคุณภาพน้ำ

ใช้น้ำบาดาลในเขตพื้นที่บ้านเลขที่ 489 หมู่ที่ 1 บ้านพระยีน ตำบลพระยีน อำเภอพระยีน จังหวัดขอนแก่นเพื่อใช้ในการทดลองระบบชุดเครื่องกรองน้ำบาดาลตัวถังพีวีซี (FSRG) ในการทดสอบโดยเปิดปั๊ม (Feeding pump) ปล่อยน้ำบาดาลเข้า (Q-in) 0.20, 0.40, 0.60 และ 0.80 ลูกบาศก์เมตร/วัน เข้าถังปฏิกรณ์ที่ 1 คือถังปฏิกรณ์แมงกานีส (R1_{Mg}) ไหลต่อเนื่อง ถังปฏิกรณ์ที่ 2 คือ ถังปฏิกรณ์เรซิน (R2_{Rs}) และถังปฏิกรณ์ที่ 3 คือ ถังปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (R3_{GAC}) ดังรูปที่ 1 ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านระบบ FSRG ได้แก่ เหล็ก (Fe) และความกระด้าง (CaCO₃) ด้วยวิธี Standard method

(APHA et al., 1999) เพื่อหาผลของระยะเวลากักพักรักษา (HRT) อัตราภาระทางชีวศาสตร์ (HLR) และอัตราภาระบรรทุกทางชีวศาสตร์ (OLR) ต่อประสิทธิภาพของระบบชุดเครื่องกรองน้ำบาดาลตัวถังพีวีซี (FSRG) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำ (วิเคราะห์น้ำตัวอย่าง ณ จุดเก็บน้ำตามรูปที่ 1)

Reactor	R1 _{Mg}	R2 _{RS}	R3 _{GAC}	R1 _{Mg}	R2 _{RS}	R3 _{GAC}	R1 _{Mg}	R2 _{RS}	R3 _{GAC}	R1 _{Mg}	R2 _{RS}	R3 _{GAC}
Q-in (m ³ /day)		200		400		600		800				
Fe-in (mg/l)	1.5	0.65	0.56	1.5	0.80	0.73	1.5	1.06	1.01	1.5	1.29	1.27
Fe-out (mg/l)	0.65	0.56	0.40	0.80	0.73	0.6	1.06	1.01	0.93	1.29	1.27	1.23
CaCO ₃ -in (mg/l)	198	155.3	55.8	198	171.3	109.16	198	182.1	145.23	198	194.9	187.86
CaCO ₃ -out (mg/l)	155.36	55.86	39.6	171.35	109.1	99	182.17	145.2	139.2	194.95	187.8	186.7



รูปที่ 1 ระบบชุดเครื่องกรองน้ำบาดาลตัวถังพีวีซี (FSRG)

3. การประเมินสมรรถนะของระบบ FSRG

ประสิทธิภาพของ FSRG (%Remove efficiency; %Remove) เป็นค่าที่บอกถึงคุณลักษณะการทำงานของระบบ FSRG ในการกำจัดเหล็ก (Fe) และความกระด้าง (CaCO₃) ในน้ำบาดาล และแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบ FSRG สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\%Remove = 100 - \frac{(Fe - out \& CaCO_3 - out)}{(Fe - in \& CaCO_3 - in)} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ %Remove คือ ประสิทธิภาพการกำจัด (%)

Fe-in, Fe-out คือ ความเข้มข้นของเหล็กสารเข้า และออกในหนึ่งเซลล์ ตามลำดับ (มิลลิกรัม/ลิตร)

CaCO₃-in, CaCO₃-out คือ ความเข้มข้นของความกระด้างมวลสารเข้า และออกในหนึ่งเซลล์ ตามลำดับ (มิลลิกรัม/ลิตร)

เวลาในการกักเก็บ (Hydraulic Retention Time; HRT) ระยะเวลาที่น้ำบาดาลไหลเข้าปริมาตรถังปฏิกิริยาหรืออยู่ระบบ FSRG คำนวณได้จากสมการที่ 2

$$HRT = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

โดยที่ HRT คือ เวลาในการกักเก็บ (วัน)

Q คือ อัตราการไหลของน้ำบาดาล (ลูกบาศก์เมตร/วัน)

V คือ ปริมาตรสารกรองในถัง (ลูกบาศก์เมตร)

อัตราการระบรทุกทางชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate; HLR) คือ เป็นอัตราน้ำบาดาลไหลเข้าพื้นที่ของแต่ละถังของระบบ FSRG คำนวณได้จากสมการที่ 3

$$HLR = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

โดยที่ HLR คือ อัตราการระบรทุกทางชลศาสตร์ (เมตร/วัน)

Q คือ อัตราการไหลของน้ำบาดาล (ลูกบาศก์เมตร/วัน)

A คือ พื้นที่ถัง (ตารางเมตร)

อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate; OLD) ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบต่อปริมาตรในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งโดยทั่วไปนิยมวัดในรูปของอัตราการระบรทุกเหล็ก (Fe loading rate) และของอัตราการระบรทุกความกระด้างทั้งหมด (CaCO_3 Loading rate) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$OLD = \frac{Q \times (\text{Fe} \& \text{CaCO}_3)}{V \times 1000} \quad (4)$$

เมื่อ OLD คือ อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ (กิโลกรัมสารอินทรีย์/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

Q คือ อัตราการไหลของน้ำบาดาล (ลูกบาศก์เมตร/วัน)

Fe คือ เหล็กของน้ำบาดาล (มิลลิกรัม/ลิตร)

V คือ ปริมาตรถัง (ลูกบาศก์เมตร)

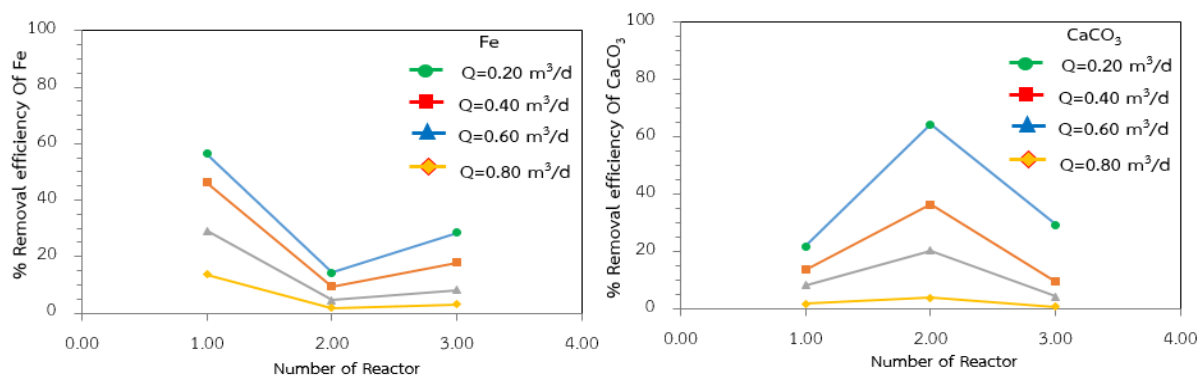
ผลการวิจัย

ในการทดสอบระบบ FSRG จำนวน 3 ถังต่อเรียงกันทำจากท่อพีวีซีตัวถังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 0.10 เมตร ความสูงของสารกรอง 1.00 เมตร มีอัตราส่วนความกว้าง:ความยาว (<1:4) แต่ละถังมีพื้นที่ (A) 86.55×10^{-2} ตารางเมตร (รัฐพล และคณะ, 2564; วุฒิกร และคณะ, 2566; Saksomboon et al., 2019) ลักษณะของน้ำบาดาลในการทดลองใสไม่มีตะกอน ทำการทดสอบที่อัตราไหลเข้าน้ำบาดาลเข้า (Q-in) 4 ระดับคือ 0.20, 0.40, 0.60 และ 0.80 ลูกบาศก์เมตร/วัน และมีเหล็กเข้า (Fe-in) และความกระด้างมวลสารเข้า (CaCO_3 -in) เท่ากับ 1.5 มิลลิกรัม/ลิตร และ 198 มิลลิกรัม/ลิตร ผ่านชุดถังปฏิกิริยาที่ 1 คือถังปฏิกิริยาแมงกานีส (R1_{Mg}) ไหลต่อเนื่องถึงปฏิกิริยาที่ 2 คือถังปฏิกิริยาเรซิน (R2_{RS}) และถังปฏิกิริยาที่ 3 คือถังปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (R3_{GAC}) ดังแสดงในตารางที่ 2 และ ดังรูปที่ 2 พบว่าอัตราไหลเข้า (Q-in) เท่ากับ 0.20 ลูกบาศก์เมตร/วัน มีเหล็กออก (Fe-out) และความกระด้างออก (CaCO_3 -out) เท่ากับ 0.40 มิลลิกรัม/ลิตร และ 39.6

มิลลิกรัม/ลิตร ของระบบ FSRG โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1 ($R1_{Mg}$) มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดค่าเหล็ก (Removal of Fe Efficiency) 56.43% และถังปฏิกรณ์ที่ 2 ($R2_{RS}$) มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดความกระด้าง (Removal of $CaCO_3$ Efficiency) 64.03% (โรสลีนา และคณะ, 2560) จากการเพิ่มระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (HRT) เท่ากับ 0.0432 วัน และลดอัตราการทางชลศาสตร์ (HLR) เท่ากับ 0.0017 เมตร/วัน และอัตราการบรรทุกทางชลศาสตร์ (OLD) เท่ากับ 0.0346 กิโลกรัม-เหล็ก/ลูกบาศก์เมตร/วัน และ 4.57 กิโลกรัม-ความกระด้าง/ลูกบาศก์เมตร/วัน ของระบบ FSRG เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดค่าเหล็กและความกระด้าง (Removal Fe and $CaCO_3$ Efficiency) เท่ากับ 73.33% และ 80.00% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3 และ ดังรูปที่ 3 ระบบดังกล่าวสามารถปรับปรุงน้ำบาดาลผ่านข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพของน้ำมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคได้ (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551)

ตารางที่ 2 ค่าเหล็ก (Fe) และความกระด้าง $CaCO_3$ ผ่านถังปฏิกรณ์ที่อัตราการไหลเข้าน้ำบาดาลเข้า (Q_{in})

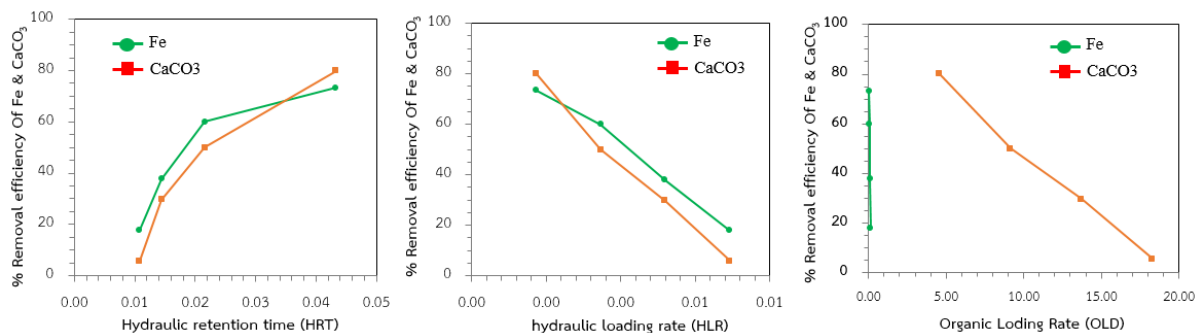
Reactor	$R1_{Mg}$	$R2_{RS}$	$R3_{GAC}$	$R1_{Mg}$	$R2_{RS}$	$R3_{GAC}$	$R1_{Mg}$	$R2_{RS}$	$R3_{GAC}$	$R1_{Mg}$	$R2_{RS}$	$R3_{GAC}$
Q_{in} (m^3/day)	200			400			600			800		
Fe-in (mg/l)	1.5	0.65	0.56	1.5	0.80	0.73	1.5	1.06	1.01	1.5	1.29	1.27
Fe-out (mg/l)	0.65	0.56	0.40	0.80	0.73	0.6	1.06	1.01	0.93	1.29	1.27	1.23
%Remove of Fe	56.43	14.39	28.50	46.17	9.53	17.86	29.01	4.55	8.09	13.68	1.76	3.03
$CaCO_3$ -in (mg/l)	198	155.4	55.86	198	171.4	109.16	198	182.2	145.23	198	194.9	187.86
$CaCO_3$ -out (mg/l)	155.4	55.86	39.6	171.4	109.2	99	182.2	145.2	139.2	194.9	187.9	186.7
%Remove of $CaCO_3$	21.53	64.03	29.11	13.45	36.28	9.31	7.99	20.27	4.15	1.53	3.64	0.61



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าเหล็ก (Fe) และความกระด้างทั้งหมด ($CaCO_3$) ของถังปฏิกรณ์แมงกานีส ถังปฏิกรณ์เรซิน และถังปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (GAC) ที่อัตราไหลเข้า (Q)

ตารางที่ 3 ค่าเหล็ก (Fe) และความกระด้าง (CaCO_3) กับระยะเวลาพักพิกลศาสตร์ (HRT) อัตราภาระทางชลศาสตร์ (HLR) และอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (OLD) ของระบบ FSRG

ระบบ FSRG กำจัด Fe (mg/l)					ระบบ FSRG กำจัด CaCO_3 (mg/l)				
Q-in (m^3/day)	0.20	0.40	0.60	0.80	Q-in (m^3/d)	0.20	0.40	0.60	0.80
Fe-in (mg/l)	1.5	1.5	1.5	1.5	CaCO_3 -in (mg/l)	198	198	198	198
Fe-out (mg/l)	0.40	0.6	0.93	1.23	CaCO_3 -out (mg/l)	39.6	99	139.2	186.7
%Remove of Fe	73.33	60.00	37.78	17.78	%Remove of CaCO_3	80.00	50.00	29.70	5.71
HRT (day)	0.0432	0.021	0.014	0.0108	HRT (day)	0.0432	0.0216	0.0144	0.0108
HLR (m/day)	0.0017	0.003	0.005	0.0069	HLR (m/day)	0.0017	0.0034	0.0051	0.0069
OLD ($\text{kg-Fe}/\text{m}^3/\text{day}$)	0.0346	0.069	0.103	0.1386	OLD ($\text{kg-CaCO}_3/\text{m}^3/\text{day}$)	4.57	9.15	13.72	18.30



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าเหล็ก (Fe) และความกระด้างทั้งหมด (CaCO_3) กับระยะเวลาพักพิกลศาสตร์ (HRT) อัตราภาระทางชลศาสตร์ (HLR) และอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (OLD) ของระบบ FSRG

การอภิปรายผล

ในการพัฒนาชุดเครื่องกรองน้ำบาดาลตัวถังพีวีซี (FSRG) ทำจากท่อพีวีซี (PVC) ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดสามารถเพิ่มจำนวนมาก 3 ถึงต่อเรียงกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า (D) 0.10 เมตร ความสูงของสารกรอง 1.00 เมตร มีอัตราส่วนความกว้าง:ความยาว (<1:4) ทำการทดสอบที่อัตราไหลเข้าน้ำบาดาลเข้า (Q-in) 4 ระดับคือ 0.20, 0.40, 0.60 และ 0.80 ลูกบาศก์เมตร/วัน และติดตั้งระบบอัตราไหลหมุนเวียน (QRe) เพื่อเกิดอัตราส่วนหมุนเวียน (QRe/Q-in) (รัฐพล และคณะ, 2564; วุฒิกร และคณะ, 2566; Suksomboon et al., 2019) เมื่อปล่อยเหล็กเข้า (Fe-in) และความกระด้างมวลสารเข้า (CaCO_3 -in) เท่ากับ 1.5 mg/l และ 198 mg/l ผ่านชุดถังปฏิกรณ์ที่ 1 คือถังปฏิกรณ์แมงกานีส (R1_{Mg}) ไหลต่อเนื่องถังปฏิกรณ์ที่ 2 คือถังปฏิกรณ์เรซิน (R2_{RS}) และถังปฏิกรณ์ที่ 3 คือ ถังปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (R3_{GAC}) อาจพบว่า อัตราไหลเข้า (Q-in) เท่ากับ 0.20 ลูกบาศก์เมตร/วัน ปริมาณน่าจะลดน้อยกว่าเหล็กออก (Fe-out) และความกระด้างออก (CaCO_3 -out) เท่ากับ 0.40 mg/l และ 39.6 mg/l ของระบบ FSRG โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1 (R1_{Mg}) มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดค่าเหล็ก (Removal of Fe efficiency) มากกว่า 56.43% และถังปฏิกรณ์ที่ 2 (R2_{RS}) มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดค่าความกระด้าง (Removal of CaCO_3 efficiency) มากกว่า 64.03% (โรสลีนา และคณะ, 2560) ลดระยะเวลาพักพิกลศาสตร์ (HRT) น้อยกว่า 0.0432 วัน และลดอัตราภาระทางชลศาสตร์ (HLR) น้อยกว่า 0.0017 เมตร/วัน และอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (OLD) น้อยกว่า 0.0346 กิโลกรัม-เหล็ก/ลูกบาศก์เมตร/วัน และ 4.57 กิโลกรัม-ความกระด้าง/ลูกบาศก์เมตร/วัน ของระบบ FSRG เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดค่าเหล็กและความกระด้าง (Removal of Fe and CaCO_3 efficiency)

มากกว่า 73.33% และ 80.00% ระบบดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อใช้ผลิตน้ำดื่มได้ เพื่อยกระดับมาตรฐานคุณภาพชีวิตสำหรับชุมชนที่มีปัญหาน้ำบาดาล

บทสรุป

การพัฒนาชุดเครื่องกรองน้ำบาดาลตัวถังพีวีซี (FSRG) ทำจากท่อพีวีซี (PVC) สำหรับชุมชนในเขตพื้นที่หมู่ที่ 1 บ้านพระยืน ตำบลพระยืน อำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่น จำนวน 3 ถังต่อเรียงกันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 0.10 เมตร ความสูงของสารกรอง 1.00 เมตร มีอัตราส่วนความกว้าง:ความยาว (<1:4) แต่ละถังมีพื้นที่ (A) 86.55×10^{-2} ตารางเมตร ทำการทดสอบที่อัตราไหลเข้าน้ำบาดาลเข้า (Q-in) 4 ระดับ คือ 0.20, 0.40, 0.60 และ 0.80 ลูกบาศก์เมตร/วัน และมีเหล็กเข้า (Fe-in) และความกระด้างมวลสารเข้า (CaCO_3 -in) เท่ากับ 1.5 มิลลิกรัม/ลิตร และ 198 มิลลิกรัม/ลิตร ผ่านชุดถังปฏิกรณ์ที่ 1 คือ ถังปฏิกรณ์แมงกานีส (R1_{Mg}) ไหลต่อเนื่องถึงปฏิกรณ์ที่ 2 คือ ถังปฏิกรณ์เรซิน (R2_{RS}) และถังปฏิกรณ์ที่ 3 คือถังปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (R3_{GAC}) พบว่า อัตราไหลเข้า (Q-in) เท่ากับ 0.20 ลูกบาศก์เมตร/วัน มีเหล็กออก (Fe-out) และความกระด้างออก (CaCO_3 -out) เท่ากับ 0.40 มิลลิกรัม/ลิตร และ 39.6 มิลลิกรัม/ลิตร ของระบบ FSRG โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1 (R1_{Mg}) มีประสิทธิภาพสูงสุดในกำจัดค่าเหล็ก (Removal of Fe efficiency) 56.43% และถังปฏิกรณ์ที่ 2 (R2_{RS}) มีประสิทธิภาพสูงสุดในกำจัดค่าความกระด้าง (Removal of CaCO_3 efficiency) 64.03% จากการเพิ่มระยะเวลาพักพิงชลศาสตร์ (HRT) เท่ากับ 0.0432 วัน และลดอัตราภาระทางชลศาสตร์ (HLR) เท่ากับ 0.0017 เมตร/วัน และอัตราภาระบรรจุทางชลศาสตร์ (OLD) เท่ากับ 0.0346 กิโลกรัม-เหล็ก/ลูกบาศก์เมตร/วัน และ 4.57 กิโลกรัม-ความกระด้าง/ลูกบาศก์เมตร/วัน ของระบบ FSRG เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในกำจัดค่าเหล็กและความกระด้าง (Removal of Fe and CaCO_3 efficiency) เท่ากับ 73.33% และ 80.00% ตามลำดับ ระบบดังกล่าวสามารถปรับปรุงน้ำบาดาลผ่านข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ ของน้ำมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคได้ แต่อย่างไรก็ตามระบบ FSRG ควรติดตั้งระบบรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse osmosis) ต่อท้ายเพื่อความสะดวกของน้ำมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (กสว.) ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2566

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2551). กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการ สำหรับการป้องกัน
ด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 125 ตอนพิเศษ 85 ง.กรุงเทพฯ
กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. (2562). คู่มือมาตรฐานน้ำดื่มประเทศไทย. สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร
กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.
รัฐพล สุขสมบูรณ์, สุธาวัลย์ ตั้งจิตเจริญกิจ และชัยยันต์ จันทร์ศิริ. (2564). นวัตกรรมเครื่องปฏิกรณ์กวนชีวภาพแบบ
ฟลูอิดซ์เบดด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. 13(3): 623-
636.

- โรสลีนา จาราแว, ซาลีฮา นามายัม และรุสนี อีแต. (2560). การศึกษาคุณภาพทางกายภาพของน้ำบาดาลที่ผ่านเครื่องกรองน้ำแบบง่าย. วารวทยาาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. 14(1): 1-12.
- วุฒิกกร สายแก้ว, รัฐพล สุขสมบูรณ์ และละอองดาว ภูสำรอง. (2566). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พลวัตเครื่องปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์เม็ดคงที่การไหลหมุนเวียนสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชน. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 33(3): 1-11.
- วิชัย ศรีบุญลือ. (2552). อุทกวิทยา. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.
- APHA, AWWA and WPCF. (1999). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th edition, American Public Health Association, Washington DC.
- Burger M., Krentz C., Merce R. and Gagon G. (2008). Manganese removal and occurrence of manganese oxidizing bacteria in full-scale biofilters. Water Supply Research Technology. 57: 351-359.
- Simons, B.B. and Wellnitz, T.R. (2003). ตำราธรณีวิทยาศาสตร์: น้ำของโลก. แปลจาก Prentice Hall Science Explorer: Earths Waters. โดย พงชัย หาญยุทธนากร และ เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์. เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า: กรุงเทพฯ.
- Suksomboon R., Junsiri C., Tangjitjaroenkit S., Moselhy M. and Padungthon P. (2019). Mathematical models of a fluidized bed bioreactor using granular activated carbon (FBBR-GAC) for wastewater treatment. Engineering and Applied Science Research. 46(3): 183-191.
- Xing D., Guangyang L., Fangshu Q., Kai L., Senlin S., Guibai L. and Heng L. (2017). Removal of iron, manganese and ammonia from groundwater using a PAC-MBR system: The anti-pollution ability, microbial population and membrane fouling. Desalination. 403: 97-106.