

หน้าสรุปโครงการ

(Executive Summary)

โครงการวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบเยื่อกรองแบบจุ่มตัวในการปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำ และน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สอง และศึกษาอิทธิพลและสภาวะทางไฮโดรไดนามิกส์ต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพของระบบ รวมถึงศึกษาสาเหตุของฟาวลิงและอัตราการเกิดฟาวลิงในชุดเยื่อกรองระดับอัลตราฟิลเตรชันที่สภาวะต่างๆ ของการปรับสภาพน้ำผิวดิน-น้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สอง โดยดำเนินการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการด้วยการใช้แบบจำลองระบบอัลตราฟิลเตรชันที่มีชุดเยื่อกรองจุ่มตัวอยู่ในถังปฏิกรณ์มีขนาดความจุประมาณ 60 ลิตร พร้อมชุดจ่ายอากาศด้านล่างของชุดเยื่อกรองที่กอลงเส้นใยเพื่อให้ความดันป้อนใกล้เคียงเยื่อกรองขณะเดินระบบกรอง โดยปริมาตรของอากาศไหลเข้าระบบฯ สามารถปรับอัตราการป้อนอากาศเข้าระบบด้วยชุดปรับอัตราการไหลของอากาศ และหาค่าฟลักซ์วิกฤต (critical flux) ขณะกรองน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำ และน้ำทิ้งหลังบำบัดแล้ว ในสภาวะที่มีการปรับสภาพและไม่ปรับสภาพด้วยสารเคมีที่ค่าที่เหมาะสมและต่ำกว่าค่าเหมาะสม 50% ซึ่งสารเคมีที่ใช้ ได้แก่ สารสร้างตะกอน 3 ชนิด คือ เกลือของเหล็ก ($FeCl_3$), อลูมิเนียมซัลเฟต หรือ สารส้ม ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$) ที่มีคุณภาพระดับ AR-Grade และ โพสิโลลูมิเนียมคลอไรด์ (PACI) ที่มีคุณภาพระดับ commercial grade สำหรับลดค่าความขุ่นในตัวอย่างน้ำผิวดินที่มีอนุภาคสารแขวนลอย และถ่านกัมมันต์ชนิดผงซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับมลสารพิษที่มีขนาดโมเลกุลเล็กและอยู่ในรูปละลายน้ำโดยใช้ชุดจาร์เทส (กวนเร็วที่ 150 รอบต่อนาที นาน 1 นาที และ กวนช้า 40 รอบต่อนาที นาน 15 นาที) ทดสอบหาปริมาณที่เหมาะสม ด้วยการวิเคราะห์หาค่าคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีผ่านพารามิเตอร์สำคัญ คือ พีเอช ความขุ่น สี สารอินทรีย์ธรรมชาติ กรดน้ำป้อนเป็นน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำ และ พีเอช ความขุ่น สี สารอินทรีย์ธรรมชาติ ซีโอดี โปรตีน ไนโตรเจน ในรูปที่เคเอ็นและแอมโมเนีย เป็นต้น เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการสร้างและรวมตะกอน และประสิทธิภาพของระบบเยื่อกรองฯด้วยการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเข้า และออกจากชุดเยื่อกรองในแต่ละชุดการทดลอง ในส่วนของการทดสอบสมรรถนะของระบบด้วยการกรองน้ำป้อนแบบต่อเนื่อง เพื่อติดตามค่าความดันส่งผ่านเมมเบรนขณะกรองที่เวลาหนึ่งๆ ซึ่งแสดงถึงค่าความเร็วของการเกิดฟาวลิงในรูปของค่า $dTMP/dt$ ของน้ำผิวดิน และน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สองที่ค่าฟลักซ์คงที่ โดยเลือกชุดการทดลองของน้ำผิวดินที่เดินระบบด้วยค่าฟลักซ์ที่สูงกว่าและต่ำกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% โดยไม่มีการเติมอากาศและไม่เติมสารปรับสภาพ และชุดการทดลองของน้ำผิวดินที่เติมสารปรับสภาพ คือ เฟอร์ริกคลอไรด์ด้วยค่าที่เหมาะสม 20 mg/L โดยไม่เติมอากาศ และเดินระบบที่ค่าฟลักซ์วิกฤตและต่ำกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% ชุดการทดลองของน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สองเลือกชุดการทดลองที่เดินระบบด้วยค่าที่สูงกว่า และต่ำกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% โดยไม่เติมผงถ่านกัมมันต์และไม่เติมอากาศ และชุดการทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ด้วยค่าที่เหมาะสมและไม่มีการเติมอากาศ รวมถึงทดสอบการสมรรถนะระบบฯแบบต่อเนื่องเมื่อกกรองน้ำป้อน โมเดลสารแขวนลอยและสารละลายที่เป็นตัวแทนองค์ประกอบที่พบในน้ำผิวดิน และน้ำทิ้งหลังบำบัดแล้ว ได้แก่ สารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์ (สารแขวนลอยอนินทรีย์) สารละลายกรดฮิวมิก (ชนิดของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่พบเป็นสัดส่วนกว่าร้อยละ 50 ของสารอินทรีย์ธรรมชาติละลายน้ำทั้งหมดในน้ำผิวดินและน้ำทิ้งชุมชนหลังบำบัด) จากชุดการทดลองที่เดินระบบกรองแบบต่อเนื่อง ที่ค่าฟลักซ์คงที่ทั้งในชุดการทดลองของน้ำผิวดินและน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สอง และดำเนินการล้างเยื่อกรองด้วยเทคนิคไฮโดรไดนามิกส์ ร่วมกับการใช้สารเคมีชนิดกรดและด่างเพื่อระบุสาเหตุและระดับของฟาวลิงที่เกิดขึ้น ซึ่งมีขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพชุดเยื่อกรองทั้งสิ้น 6 ขั้นตอน ได้แก่ การเติมอากาศ 100 L/min-นาน 1 และ 5 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นแบบไหลเอื่อย

นาน 1 นาที ล้างยอนด้วยน้ำกลั่น กรองที่อัตราการกรองยอน 15 L/h/m^2 - นาน 15 และ 30 นาที ล้างยอนด้วยกรดซิดริก ความเข้มข้น 0.1 N ที่อัตราการกรองยอน 15 L/h/m^2 - นาน 1 และ 2 ชั่วโมง ตามด้วยการแช่ชุดเยื่อกรองและล้างยอนด้วยสารละลายต่างของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 N - นาน 1 และ 2 ชั่วโมง และล้างสารเคมีปนเปื้อนในชุดเยื่อกรองด้วยน้ำกรองแบบล้างยอนที่อัตราการกรองยอน 15 L/h/m^2 - นาน 30 นาที

ผลการศึกษาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม 3 ชนิด ต่อคุณภาพน้ำผิวดินหลังกระบวนการสร้างและรวมตะกอน ที่ pH ระหว่าง 7.0 ± 0.5 ทั้งนี้ปริมาณที่เหมาะสมในการลดค่าความขุ่นในน้ำผิวดิน ให้มีค่าต่ำกว่า 5 NTU คือ 20 mg/L 50 mg/L และ 3 mg/L ตามลำดับ สำหรับสารละลายเฟอริกคลอไรด์ สารละลายสารส้มและสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ร้อยละ 94-97 ในขณะที่เดียวกันสามารถลดปริมาณสีปรากฏ ค่า Absorbance ที่ 254 nm และ ปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปของกรดฮิวมิคให้อยู่ในระดับต่ำจนไม่สามารถตรวจวัดได้ สำหรับกรณีน้ำป้อนที่เป็นน้ำทิ้งหลังบำบัดฯ นั้นการปรับสภาพด้วยถ่านกัมมันต์ปริมาณ 500 mg/L ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดฯ คือ ลดค่า absorbance ที่ 254 nm ปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปของกรดฮิวมิค ได้สูงกว่าร้อยละ 50 โดยค่า BOD_5 ที่คงเหลือค้ำงในน้ำทิ้งหลังบำบัดฯ มีค่าต่ำจนไม่สามารถตรวจพบได้ อย่างไรก็ตามยังพบว่าปริมาณสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ยาก และคงเหลือค้ำงอยู่ในน้ำทิ้งแม้ว่าภายหลังการปรับสภาพด้วยการใช้ผงถ่านกัมมันต์ในปริมาณที่สูงขึ้นถึง $1,000 \text{ mg/L}$ ดังนั้นหากต้องการน้ำที่มีคุณภาพสูง การเพิ่มขั้นตอนการบำบัดขั้นสูงภายหลังกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง เป็นแนวทางหนึ่งที่ทำให้คุณภาพน้ำสูงขึ้น อย่างไรก็ตามสำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งเพื่อเป็นแหล่งน้ำดิบต้นทุนสำหรับใช้เป็นน้ำใช้ ด้วยการเพิ่มกระบวนการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชันเพื่อทำใสและเป็นการแยกเชื้อโรคที่ทำให้เกิดโรคออกจากน้ำทิ้งฯ ซึ่งเป็นแนวปฏิบัติที่ได้รับการยอมรับว่าทำให้ได้น้ำทิ้งกลับมาเป็นน้ำใช้ที่มีคุณภาพทั้งทางกายภาพและชีวภาพ

ผลการทดลองหาค่าฟลักซ์วิกฤต พบว่า ค่าฟลักซ์วิกฤตในแต่ละสภาวะที่มีการปรับสภาพ และไม่ปรับสภาพด้วยสารสร้างตะกอนต่างชนิดกันส่งผลต่อค่าฟลักซ์วิกฤตที่วัดได้ คือ สารละลายอลูมิเนียมซัลเฟตหรือสารส้ม และสารละลายโพลิออลูมิเนียมคลอไรด์ มีผลทำให้ค่าฟลักซ์วิกฤตเพิ่มขึ้นประมาณ 0.25 เท่าเปรียบเทียบกับผลในชุดการทดลองที่ไม่มีการปรับสภาพด้วยสารสร้างตะกอนชนิดใดๆ (น้ำผิวดินไม่ปรับสภาพและไม่มีการเติมอากาศ ได้ค่าฟลักซ์วิกฤตเท่ากับ 32.08 L/h/m^2 และค่าฟลักซ์วิกฤตน้ำผิวดินไม่ปรับสภาพและเติมอากาศที่ 20, 50 และ 70 L/min ได้ค่าฟลักซ์วิกฤตเท่ากับ 32.30, 33.12, 33.47 L/h/m^2 ตามลำดับ) ขณะที่สารละลายเฟอริกคลอไรด์มีศักยภาพในการทำให้ค่าฟลักซ์วิกฤตเพิ่มสูงขึ้นมากที่สุดถึง 2-3 เท่าตัว เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารสร้างตะกอนใน 2 ชนิดที่กล่าวมาแล้ว ผลของการเติมอากาศร่วมกับการปรับสภาพด้วยสารสร้างตะกอนของสารละลายเฟอริกคลอไรด์ หรือสารละลายอลูมิเนียมซัลเฟตหรือสารส้มไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าฟลักซ์วิกฤต ในขณะที่เมื่อเพิ่มอัตราการเติมอากาศสูงขึ้นในตัวอย่างน้ำผิวดินที่ปรับสภาพด้วยโพลิออลูมิเนียมคลอไรด์พบว่าผลเชิงบวกต่อการเพิ่มขึ้นค่าฟลักซ์วิกฤตในระดับหนึ่ง โดยเปรียบเทียบกับค่าฟลักซ์วิกฤตของน้ำผิวดินที่ปรับสภาพด้วยสารเคมีในปริมาณต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม 50% พบว่า มีค่าต่ำกว่าค่าฟลักซ์วิกฤตที่ได้รับในสภาวะที่มีการเติมสารเคมีในความเข้มข้นที่เหมาะสมเล็กน้อย ขณะที่ไม่มีความแตกต่างกันของค่าฟลักซ์วิกฤตที่ได้ทั้งในสภาวะที่มีอัตราความปั่นป่วนสูงและอัตราความปั่นป่วนต่ำจากการเติมอากาศที่อัตราต่างๆ

ชุดการทดลองหาค่าฟลักซ์วิกฤตกับตัวอย่างน้ำทิ้งหลังบำบัดที่ไม่เติมสารดูดติดผิว ที่เป็นผงถ่านกัมมันต์พบว่า ได้ค่าฟลักซ์วิกฤตใกล้เคียงกัน คือ 7.68, 7.68, 8.54 และ 9.11 L/h/m^2 ในสภาวะที่ไม่เติมอากาศและที่อัตราการเติมอากาศเป็น 20, 50, 70 L/min ตามลำดับ ซึ่งผลของการเติมอากาศที่ปริมาตรสูงไม่ส่งผลให้ค่าฟลักซ์วิกฤตเพิ่มขึ้น และกรณีที่ปรับสภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดฯ ด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่ค่าเหมาะสม 500 mg/L ได้ค่าฟลักซ์วิกฤต

ของในสภาวะที่ไม่เติมอากาศและเติมอากาศที่ 20, 50 และ 70 L/min เท่ากับ 9.39, 8.39, 7.68 และ 7.68 L/h/m² แสดงให้เห็นว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าฟลักซ์วิกฤตที่เพิ่มขึ้นจากผลการปรับสภาพด้วยถ่านกัมมันต์ (เพื่อลดค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำในตัวอย่างน้ำทิ้งดังกล่าว) ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาพร้อมกับคุณภาพน้ำทิ้งหลังกรอง พบว่าการเติมผงถ่านกัมมันต์สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปกรดฮิวมิกในตัวอย่างได้มากกว่าสภาวะที่ไม่เติม โดยมีสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปกรดฮิวมิกเหลือค้างในน้ำเพอมีเอระหว่าง 0.5-1.7 mg/L ซึ่งลดกว่าร้อยละ 80

ผลศึกษาสมรรถนะการเดินระบบกรองน้ำผิวดิน และน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สองที่ค่าฟลักซ์คงที่อย่างต่อเนื่อง ในสภาวะค่าฟลักซ์ที่สูงกว่าและต่ำกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% (48 และ 16 L/h/m²) โดยไม่มีการเติมอากาศและไม่เติมสารปรับสภาพ เพื่อหาค่าความเร็วของการเกิดฟาวลิงในรูปของค่า $dTMP/dt$ พบว่า อัตราเร็วของการเกิดฟาวลิงเท่ากับ 0.035 mbar/sec เมื่อกรองตัวอย่างน้ำผิวดินที่ค่าฟลักซ์สูงกว่าค่าวิกฤต 50% ที่ 48 L/h/m² ซึ่งมีค่าสูงมากกว่า 11 เท่าตัวเปรียบเทียบกับเมื่อกรองตัวอย่างที่ค่าฟลักซ์ต่ำกว่าค่าวิกฤต 50% ที่ 16 L/h/m² ซึ่งค่าฟลักซ์ที่ต่ำกว่า 3 เท่า ผลของการเติมเฟอริกคลอไรด์ในน้ำผิวดินที่เดินระบบกรองที่ค่าฟลักซ์สูง คือ 106 และ 55 L/h/m² พบว่า อัตราเร็วของการเกิดฟาวลิงมีค่าไม่แตกต่างกัน คือ ประมาณ 0.008 mbar/sec ซึ่งต่ำกว่าในสภาวะที่ไม่มีการเติมเฟอริกคลอไรด์ประมาณ 4 เท่าตัว สำหรับตัวอย่างน้ำทิ้งหลังบำบัด เมื่อเดินระบบกรองอย่างต่อเนื่องที่ค่าฟลักซ์สูงกว่าค่าวิกฤต คือที่ 12 L/h/m² นั้น พบว่า อัตราเร็วการของการเกิดฟาวลิง เท่ากับ 0.0125 mbar/sec ขณะที่เมื่อกรองตัวอย่างที่ค่าฟลักซ์ต่ำกว่าค่าวิกฤต คือที่ 4 L/h/m² นั้น ค่าอัตราเร็วการเกิดฟาวลิงมีค่าต่ำกว่าประมาณ 3 เท่าตัว คือ เท่ากับ 0.004 mbar/sec ซึ่งสอดคล้องกับค่าฟลักซ์ที่ต่ำกว่า 3 เท่าเช่นกัน และผลของการเติมผงถ่านกัมมันต์ในน้ำทิ้งหลังบำบัดก่อนการกรองอย่างต่อเนื่องมีผลทำให้อัตราเร็วของการเกิดฟาวลิงลดลงประมาณ 1.4 เท่า เมื่อกรองที่ค่าฟลักซ์ 12 L/h/m² ทั้งนี้การเติมผงถ่านกัมมันต์ไม่ทำให้เห็นความแตกต่างของค่าอัตราเร็วฟาวลิงเมื่อกรองอย่างต่อเนื่องที่ค่าฟลักซ์ต่ำกว่าค่าวิกฤตที่ 4 L/h/m²

จากชุดทดสอบที่กรองแบบต่อเนื่องเพื่อระบุสาเหตุและระดับของฟาวลิงที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพที่ใช้ โดยค่าความต้านทาน (R) ที่ปรากฏก่อนการล้างและภายหลังการล้าง พบว่า น้ำผิวดินไม่เติมอากาศและไม่เติมเฟอริกคลอไรด์ที่เดินระบบอย่างต่อเนื่องที่ฟลักซ์สูงกว่าค่าวิกฤต 50% (46 L/h/m²) ค่าความต้านทานภายหลังการล้างลดลงกว่าร้อยละ 10 เป็นลำดับในแต่ละขั้นตอนการล้างด้วยเทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์ ซึ่งสามารถลดและกำจัดฟาวลิงแบบผันกลับได้ ทั้งนี้ผลของการล้างฟื้นฟูสภาพด้วยการใช้สารเคมีที่เป็นกรดซิดริกและด่างของโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยการกรองย้อนที่อัตราการกรองย้อนต่ำ นาน 1 และ 2 ชั่วโมง นั้น สามารถลดค่าความต้านทานเมมเบรนคงเหลืออยู่ได้อีกเพียงเล็กน้อย และค่าความต้านทานหลังล้างทุกขั้นตอนแล้ว สูงกว่าร้อยละ 20 จากเริ่มต้นของเมมเบรนสะอาดก่อนใช้ ขณะที่เดินระบบด้วยค่าฟลักซ์ที่ต่ำกว่าค่าวิกฤต 50% (16 L/h/m²) มีค่าความต้านทานเมมเบรนส่วนที่เพิ่มจากค่าความต้านทานของเมมเบรนสะอาดสูงกว่า 2.5 เท่า และพบการสะสมที่ผิวหน้าแบบเป็นชั้นเค้กที่พบบนผิวหน้าเยื่อกรอง ค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นน่าจะเกิดจากการสะสม และอุดตันภายในรูกรองของสารอินทรีย์ละลายน้ำ และอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้ค่าความดันส่งผ่านเมมเบรนขณะกรองค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น ด้วยอัตราเร็วเท่ากับ 0.003 Pa/sec ทั้งนี้ พบว่า ค่าความต้านทานเมมเบรนที่เพิ่มขึ้นสามารถลดลงกว่าร้อยละ 20-30 เมื่อเสร็จสิ้นการล้างด้วยขั้นตอนต่างๆ ภายใต้เทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์ สำหรับผลของการล้างฟื้นฟูสภาพ ด้วยการใส่สารเคมีที่เป็นกรดซิดริกและด่างของโซเดียมไฮดรอกไซด์ นั้น ทำให้ลดค่าความต้านทานเมมเบรนคงเหลืออยู่ได้เพียงเล็กน้อย และไม่สามารถฟื้นฟูสภาพให้ชุดเยื่อกรองให้มีค่าความต้านทานหลัง

สิ้นสุดการล้างเท่ากับเมมเบรนสะอาดก่อนใช้ทำการกรอง โดยเป็นฟาวลิงแบบไม่สามารถผันกลับได้ที่ทำให้ค่าความต้านทานคงเหลือค้างอยู่ประมาณ $1.49 \times 10^{12} \text{ m}^2$ หรือเพิ่มขึ้นประมาณกว่าร้อยละ 50

ผลการคำนวณค่าความต้านทานเมมเบรนในชุดการทดลองน้ำผิวดินที่เติมสารเพอริกคลอไรด์ปริมาณที่เหมาะสม 20 mg/L โดยไม่เติมอากาศและเดินระบบที่ค่าฟลักซ์วิกฤต (106 L/h/m^2) พบว่า ค่าความต้านทานเมมเบรนเมื่อสิ้นสุดการกรองเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากเมมเบรนสะอาดก่อนกรอง และมีค่าลดลงบ้างเมื่อเสร็จสิ้นการล้างด้วยขั้นตอนต่างๆ ภายใต้เทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์ เมื่อเข้าสู่การล้างพื้นสภาพด้วยการใช้สารเคมีที่เป็นกรดซัลฟิวริก และล้างของโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยการกรองย้อน พบว่า ลดลงไม่แตกต่างจากขั้นตอนแรก ซึ่งค่าความต้านทานเมื่อเสร็จสิ้นจากชุดการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่ามีฟาวลิงน้อยมากหรือแทบไม่มี เนื่องจากค่าความต้านทานไม่แตกต่างจากค่าความต้านทานเมมเบรนสะอาดก่อนใช้งาน และเมื่อเดินระบบที่ต่ำกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% (55 L/h/m^2) พบว่า ค่าความต้านทานเมมเบรนเมื่อสิ้นสุดการกรองเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 43 จากเมมเบรนสะอาดก่อนกรอง และมีค่าลดลงเป็นลำดับประมาณร้อยละ 16-30 เมื่อทำการล้างด้วยเทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์ จากนั้นการล้างกรองย้อนด้วยสารเคมีกรดซัลฟิวริกและล้าง ที่อัตราการกรองย้อนต่ำกำจัดฟาวลิงแบบไม่สามารถผันกลับได้ โดยค่าความต้านทานลดลงอีกประมาณร้อยละ 13-70 ซึ่งสามารถฟื้นฟูสภาพชุดเมมเบรนได้อย่างสมบูรณ์

ชุดการทดลองของน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สองที่เดินระบบที่ค่าสูงกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% ไม่เติมสารคลอโรไดออกไซด์และไม่เติมอากาศ พบว่าค่าความต้านทานเมมเบรนสิ้นสุดการกรองเพิ่มขึ้นประมาณ 2.7 เท่าตัวจากเมมเบรนสะอาด และมีค่าลดลงเป็นลำดับประมาณร้อยละ 20-27 เมื่อล้างด้วยเทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์ สำหรับผลของการล้างกรองย้อนด้วยกรดซัลฟิวริกและล้างที่อัตราการกรองย้อนต่ำสามารถกำจัดฟาวลิงแบบไม่สามารถผันกลับได้ โดยค่าความต้านทานลดลงเล็กน้อยอีกประมาณร้อยละ 6-18 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการสะสมของฟาวลิงแบบไม่สามารถผันกลับได้เพิ่มขึ้นจากค่าความต้านทานของเมมเบรนสะอาดประมาณร้อยละ 60 ในชุดการทดลองที่ไม่เติมสารคลอโรไดออกไซด์และไม่เติมอากาศ เดินระบบด้วยค่าฟลักซ์ที่ต่ำกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% นั้น ค่าความต้านทานเมมเบรนเมื่อสิ้นสุดการกรองเพิ่มจากค่าความต้านทานของเมมเบรนสะอาดก่อนกรองประมาณกว่า 3.3 เท่า ซึ่งสูงกว่าค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นขณะกรองที่ค่าฟลักซ์สูงกว่าค่าวิกฤต (แม้ว่าการเดินระบบกรองอย่างต่อเนื่องที่ค่าฟลักซ์สูงกว่าค่าวิกฤต คือที่ 12 L/h/m^2 นั้น มีอัตราเร็วการเกิดการเกิดฟาวลิง เท่ากับ 0.0125 mbar/sec ขณะที่เมื่อกรองตัวอย่างที่ค่าฟลักซ์ต่ำกว่าค่าวิกฤต คือที่ 4 L/h/m^2 นั้น ค่าอัตราเร็วการเกิดฟาวลิงมีค่าต่ำกว่าประมาณ 3 เท่าตัว คือ เท่ากับ 0.004 mbar/sec) โดยเมื่อทำการล้างด้วยเทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์ แล้วมีค่าลดลงเป็นลำดับประมาณร้อยละ 26-37 และผลของการล้างกรองย้อนด้วยกรดซัลฟิวริกและล้างที่อัตราการกรองย้อนต่ำนั้นสามารถกำจัดฟาวลิงแบบไม่สามารถผันกลับได้ โดยค่าความต้านทานลดลงเป็นลำดับอีกประมาณร้อยละ 11-33 และยังคงพบว่าค่าความต้านทานสุดท้ายสูงกว่าค่าความต้านทานเมมเบรนสะอาดอยู่ร้อยละ 40 ซึ่งเกิดจากฟาวลิงแบบไม่สามารถผันกลับได้

ผลการทดลองในชุดการทดลองน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สองที่ทำการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 500 mg/L ไม่มีการเติมอากาศ และเดินระบบด้วยค่าฟลักซ์สูงกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% พบว่า ค่าความต้านทานเมมเบรนเมื่อสิ้นสุดการกรองเพิ่มจากค่าความต้านทานของเมมเบรนสะอาดเกือบ 4 เท่า โดยเมื่อล้างด้วยเทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์แล้วมีค่าลดลงเป็นลำดับ ส่วนผลของการล้างด้วยกรดซัลฟิวริกและล้างที่อัตราการกรองย้อนต่ำสามารถกำจัดฟาวลิงแบบไม่สามารถผันกลับได้ โดยค่าความต้านทานลดลงเป็นลำดับอีกประมาณร้อยละ 1-31 ทั้งนี้ในชุดการทดลองนี้ขั้นตอนการล้างทั้งหมดสามารถฟื้นฟูสภาพชุดเมมเบรนได้อย่างสมบูรณ์ ไม่พบฟาวลิงตกค้างเนื่องจากเป็นผลจากการเติมผงถ่านกัมมันต์ที่สามารถดูดซับสารละลายอินทรีย์ในน้ำทิ้งซึ่งเป็นสาเหตุของฟาวลิงแบบไม่ผันกลับ แม้ว่าจะเดินระบบกรองที่ค่าสูงกว่าค่าฟลักซ์วิกฤตก็ตาม ผลการทดลองในชุดการทดลองที่เดินระบบด้วย

ค่าฟลักซ์คงที่ต่ำกว่าค่าฟลักซ์วิกฤติ เติมสารดูดติดผิวที่เป็นผงถ่านกัมมันต์ 500 mg/L ไม่เติมอากาศ โดยค่าความต้านทานเมมเบรนเมื่อสิ้นสุดการกรองค่าเพิ่มจากค่าความต้านทานของเมมเบรนสะอาดก่อนกรอง 2 เท่า โดยเมื่อทำการล้างด้วยเทคนิคทางไฮโดรไดนามิกมีค่าลดลงเป็นลำดับประมาณร้อยละ 11-26 สำหรับผลของกรดซิตริกและค่าที่อัตราการกรองย้อนต่ำสามารถกำจัดฟาว์ลิงแบบไม่สามารถผันกลับได้เล็กน้อย คือ ประมาณร้อยละ 0.8-16 ในชุดการทดลองนี้ขั้นตอนการล้างทั้งหมดสามารถฟื้นฟูสภาพชุดเมมเบรนได้อย่างสมบูรณ์ ไม่พบฟาว์ลิงตกค้าง เนื่องจากเป็นผลจากการเติมผงถ่านกัมมันต์ที่สามารถดูดติดสารละลายอินทรีย์ในน้ำทิ้งซึ่งเป็นสาเหตุของฟาว์ลิงแบบไม่ผันกลับเช่นกัน

ผลการศึกษาเพื่อทดสอบสมรรถนะการเดินระบบแบบต่อเนื่อง: กรณี Model suspension (สารละลายกรดซิตริก สารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์ สารแขวนลอยผงถ่านกัมมันต์ และสารผสมสองชนิด) ส่วนงานวิจัยหัวข้อนี้ ได้เลือกตัวอย่างโมเดลสารแขวนลอยและสารละลายที่เป็นตัวแทนองค์ประกอบที่พบในน้ำผิวดินและน้ำทิ้งหลังบำบัดแล้ว ได้แก่ สารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์ (สารแขวนลอยอินทรีย์) สารละลายกรดซิตริก (ชนิดของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่พบเป็นสัดส่วนกว่าร้อยละ 50 ของสารอินทรีย์ธรรมชาติละลายน้ำทั้งหมดในน้ำผิวดินและน้ำทิ้งชุมชนหลังบำบัดฯ) พบว่า ค่าอัตราเร็วของการเกิดฟาว์ลิง ($dTMP/dt$) สูงสุดเมื่อกรองสารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้น 10 mg/L คือ 1.12 mbar/s เมื่อกรองที่ค่าฟลักซ์คงที่ที่ 30 L/h/m² และไม่มีการเติมอากาศ ซึ่งเป็นสูงกว่าประมาณ 10 เท่าตัวเทียบกับค่าอัตราเร็วฟาว์ลิงที่เกิดขึ้นเมื่อกรองกรดซิตริกความเข้มข้น 5 mg/L และการกรองสารแขวนลอยอนุภาคที่ความเข้มข้นสูงของเบนโทไนต์และผงถ่านกัมมันต์ นั้น การเปลี่ยนแปลงของค่าความดันส่งผ่านเมมเบรนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นกราฟลักษณะเส้นตรง ซึ่งแสดงว่าเกิดขึ้นแก่กะสมที่ผิวหน้าเมมเบรน และค่าอัตราเร็วการเกิดฟาว์ลิงสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคขณะกรองเพิ่มขึ้น และการผสมสารละลายกรดซิตริกซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กรวมกับสารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์/ผงถ่านกัมมันต์ ทำให้อัตราเร็วการเกิดฟาว์ลิงสูงกว่าเมื่อกรองสารแขวนลอยเพียงชนิดเดียว

ผลการศึกษาสาเหตุ กลไกการอุดตัน และประสิทธิภาพการล้างเพื่อฟื้นฟูสภาพเยื่อกรอง: กรณี Model suspension (สารละลายกรดซิตริก สารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์ สารแขวนลอยผงถ่านกัมมันต์ และสารผสมสองชนิด) ซึ่งใช้วิธีการเช่นเดียวกับการทดสอบที่เดินระบบกรองแบบต่อเนื่อง ที่ค่าฟลักซ์คงที่ทั้งในชุดการทดลองของน้ำผิวดินและน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สอง และดำเนินการล้างเยื่อกรองด้วยเทคนิคไฮโดรไดนามิกส์ร่วมกับการใช้สารเคมีชนิดกรดและด่างเพื่อระบุสาเหตุและระดับของฟาว์ลิงที่เกิดขึ้น จากการสรุปค่าความต้านทานภายหลังเสร็จสิ้นการล้างฟื้นฟูสภาพด้วยขั้นตอนต่างๆ พบว่า ฟาว์ลิงแบบผันกลับได้เป็นชนิดของฟาว์ลิงที่พบเมื่อกรองสารแขวนลอยเดี่ยวของอนุภาคเบนโทไนต์และผงถ่านกัมมันต์ ขณะที่ระดับของค่าความต้านทานคงเหลือค้างในเมมเบรนขณะล้างชุดกรองเมื่อกรองสารละลายกรดซิตริก หรือ สารผสมระหว่างสารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์ ผงถ่านกัมมันต์ กับ กรดซิตริก พบว่า มีค่าความต้านทานคงเหลือค้างสูง ซึ่งสามารถฟื้นฟูสภาพชุดเมมเบรนได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ ค่าความต้านทานเมมเบรนสุดท้ายใกล้เคียงหรือเท่ากับเมมเบรนสะอาดก่อนกรอง เมื่อใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่าง คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นั้นแสดงว่า เป็นฟาว์ลิงแบบผันกลับไม่ได้