5-สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาซึ่งประกอบด้วยการดำเนินการทดลอง ตามหัวข้อ 4-1 ถึง หัวข้อ 4-7 สามารถสรุปประเด็น ได้ดังต่อไปนี้

1. สารละลายเฟอริกคลอไรด์ สารละลายสารส้มและสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ มีประสิทธิภาพในการปรับสภาพน้ำผิวดินและน้ำทิ้งหลังบำบัดฯ ในการกำจัดความขุ่นได้ถึง 94-97 % ที่ค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมเท่ากับ 20 mg/L 50 mg/L และ 3 mg/L ตามลำดับ ที่ pH ระหว่าง 7.0 ± 0.5 เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการสร้างและรวมตะกอน ในขณะเดียวกันสามารถลดปริมาณสีปรากฏ ค่า Absorbance ที่ 254 nm และ ปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปของกรดฮิวมิก ให้อยู่ในระดับต่ำจนไม่สามารถตรวจวัดได้ สำหรับกรณีน้ำป้อนที่เป็นน้ำทิ้งหลังบำบัดฯ นั้นการปรับสภาพด้วยด่างทับทิมปริมาณ 500 mg/L ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดฯ คือ ลดค่า Absorbance ที่ 254 nm ปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปของกรดฮิวมิก ได้สูงกว่า 50% โดยค่า BOD_5 ที่คงเหลือค้างในน้ำทิ้งหลังบำบัดฯในระดับต่ำจนไม่สามารถตรวจพบได้ อย่างไรก็ตามยังพบว่ามีปริมาณสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ยาก และคงเหลือค้างอยู่ในน้ำทิ้ง แม้ว่าภายหลังการปรับสภาพด้วยการใช้ผงด่างทับทิมในปริมาณที่สูงขึ้นถึง 1,000 mg/L ดังนั้นหากต้องการนำที่มีคุณภาพสูง

2. ค่าฟลักซ์วิกฤตของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำ ม.สงขลานครินทร์ที่มีการปรับสภาพและไม่ปรับสภาพด้วยสารสร้างตะกอนต่างชนิดกันส่งผลต่อค่าฟลักซ์วิกฤต คือ สารละลายอลูมิเนียมซัลเฟต หรือสารส้ม และสารละลายโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ มีผลทำให้ค่าฟลักซ์วิกฤตเพิ่มขึ้นประมาณ 0.25 เท่าเปรียบเทียบกับผลในชุดการทดลองที่ไม่มีการปรับสภาพด้วยสารสร้างตะกอนชนิดใดๆ ขณะที่สารละลายเฟอริกคลอไรด์มีศักยภาพในการทำให้ค่าฟลักซ์วิกฤตเพิ่มสูงขึ้นมากที่สุดถึง 2-3 เท่าตัว เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารสร้างตะกอนอีก 2 ชนิดที่กล่าวมาแล้ว และผลของการเติมอากาศ ร่วมกับการปรับสภาพด้วยสารสร้างตะกอนของสารละลายเฟอริกคลอไรด์ หรือสารละลายอลูมิเนียมซัลเฟตหรือสารส้ม ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าฟลักซ์วิกฤต ในขณะที่เมื่อเพิ่มอัตราการเติมอากาศสูงขึ้นในตัวอย่างน้ำผิวดิน ที่ปรับสภาพด้วยโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ พบว่ามีผลเชิงบวกต่อการเพิ่มขึ้นค่าฟลักซ์วิกฤตในระดับหนึ่ง สำหรับค่าฟลักซ์วิกฤตของน้ำผิวดินที่ปรับสภาพด้วยสารเคมีในปริมาณต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม 50% พบว่า มีค่าต่ำกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต ที่

ได้รับในสภาวะที่มีการเติมสารเคมีในความเข้มข้นที่เหมาะสมเล็กน้อย ขณะที่ไม่มีความแตกต่างกันของค่าฟลักซ์วิกฤตที่ได้รับทั้งในสภาวะที่มีอัตราความปั่นป่วนสูงและอัตราความปั่นป่วนต่ำจากการเติมอากาศที่อัตราต่างๆ

3. ค่าฟลักซ์วิกฤตของน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สองจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ในสภาวะที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ พบว่า ได้ค่าฟลักซ์วิกฤตใกล้เคียงกัน คือ 7.68, 7.68, 8.54 และ 9.11 L/h/m^2 ในสภาวะที่ไม่เติมอากาศและที่อัตราการเติมอากาศเป็น 20, 50, 70 L/min ซึ่งผลของการเติมอากาศที่ปริมาตรสูงไม่ส่งผลให้ค่าฟลักซ์วิกฤตเพิ่มขึ้น และกรณีที่ปรับสภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดฯ ด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่ค่าเหมาะสม 500 mg/L ได้ค่าฟลักซ์วิกฤตของในสภาวะที่ไม่เติมอากาศและเติมอากาศที่ 20, 50 และ 70 L/min เท่ากับ 9.39, 8.39, 7.68 และ 7.68 L/h/m^2 แสดงให้เห็นว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าฟลักซ์วิกฤตที่เพิ่มเข้นจากผลการปรับสภาพด้วยถ่านกัมมันต์ (เพื่อลดค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำในตัวอย่างน้ำทิ้งดังกล่าว) ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพน้ำทิ้งหลังกรอง พบว่า การเติมผงถ่านกัมมันต์สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปกรดฮิวมิกในตัวอย่างได้มากกว่าสภาวะที่ไม่เติม โดยมีสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปกรดฮิวมิกเหลือค้างในน้ำเพอมิเอทระหว่าง 0.5-1.7 ซึ่งลดกว่าร้อยละ 80

4. ผลการทดสอบสมรรถนะการเดินระบบกรองน้ำผิวดินและน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สองที่ค่าฟลักซ์คงที่อย่างต่อเนื่องที่ค่าฟลักซ์ที่สูงกว่าและต่ำกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% (48 และ 16 L/h/m^2) โดยไม่มีการเติมอากาศและไม่เติมสารปรับสภาพ พบว่า อัตราเร็วของการเกิดฟาวลิ่ง (dTMP/dt) เท่ากับ 0.035 mbar/sec เมื่อกรองตัวอย่างน้ำผิวดินที่ค่าฟลักซ์สูงกว่าค่าวิกฤต 50% ที่ 48 L/h/m^2 ซึ่งมีค่าสูงมากกว่า 11 เท่าตัวเปรียบเทียบกับเมื่อกรองตัวอย่างที่ค่าฟลักซ์ต่ำกว่าค่าวิกฤต 50% ที่ 16 L/h/m^2 ซึ่งค่าฟลักซ์ที่ต่ำกว่า 3 เท่า ผลของการเติมเฟอริกคลอไรด์ในน้ำผิวดินที่เดินระบบกรองที่ค่าฟลักซ์สูง คือ 106 และ 55 L/h/m^2 พบว่า อัตราเร็วของการเกิดฟาวลิ่งมีค่าไม่แตกต่างกัน คือ ประมาณ 0.008 mbar/sec และมีค่าต่ำกว่าในสภาวะที่ไม่มีการเติมเฟอริกคลอไรด์ประมาณ 4 เท่าตัว สำหรับตัวอย่างน้ำทิ้งหลังบำบัดฯ เมื่อกรองอย่างต่อเนื่องที่ค่าฟลักซ์สูงกว่าค่าวิกฤต คือที่ 12 L/h/m^2 นั้น พบว่า อัตราเร็วการของการเกิดฟาวลิ่ง เท่ากับ 0.0125 mbar/sec ขณะที่เมื่อกรองตัวอย่างที่ค่าฟลักซ์ต่ำกว่าค่าวิกฤต คือที่ 4 L/h/m^2 นั้น ค่าอัตราเร็วการเกิดฟาวลิ่งมีค่าต่ำกว่าประมาณ 3 เท่าตัว คือ เท่ากับ 0.004 mbar/sec ซึ่งสอดคล้องกับค่าฟลักซ์ที่ต่ำกว่า 3 เท่าเช่นกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผลของการเติมผงถ่านกัมมันต์ในน้ำทิ้งหลังบำบัดฯก่อนการกรองอย่างต่อเนื่องมีผลทำให้อัตราเร็วของการเกิดฟาวลิ่งลดลงประมาณ 1.4 เท่า เมื่อกรองที่ค่าฟลักซ์ 12 L/h/m^2 ทั้งนี้การเติมผงถ่านกัมมันต์ไม่ทำให้เห็นความแตกต่างของค่าอัตราเร็วฟาวลิ่งเมื่อกรองอย่างต่อเนื่องที่ค่าฟลักซ์ต่ำกว่าค่าวิกฤตที่ 4 L/h/m^2

5. ผลการศึกษาจากชุดทดสอบที่กรองแบบต่อเนื่องเพื่อระบุสาเหตุและระดับของฟาวลิ่งที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการฟื้นสภาพที่ใช้ โดยค่าความต้านทาน (R) ที่ปรากฏก่อนการล้างและภายหลังการล้าง พบว่า

- กรณีน้ำผิวดิน ขั้นตอนการล้างด้วยเทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์ ได้แก่ การเติมอากาศให้ความปั่นป่วนสูงบริเวณชุดเยื่อกรองที่อัตรา 100 L/min–นาน 1 และ5 นาที การล้างชุดกรองด้วยน้ำกลั่น กรองไหลเอื่อยที่ผิวเยื่อกรอง นาน 1 นาที และการล้างย้อนด้วยน้ำกลั่น กรองที่อัตราการกรองย้อน 15 L/h/m^2 – นาน 15 และ 30 นาที สามารถลดและกำจัดฟาวลิ่งแบบผันกลับได้ ซึ่งเป็นชั้นเค้กสะสมบนผิวหน้าเมมเบรนกรณีที่ไม่มีและมีการเติมสารสร้างตะกอนได้ประมาณร้อยละ10-30 เมื่อกรองที่ค่าสูงกว่าและต่ำกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% ขณะฟาวลิ่งแบบไม่สามารถผันกลับได้จากการสะสม และดูดติดภายในรูกรองของสารอินทรีย์ละลายน้ำ อนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งการใช้สารเคมีที่เป็นกรดซิตริกและด่างของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ล้างย้อนด้วยกรดซิตริก 0.1 N ที่อัตราการกรองย้อน 15 L/h/m^2 –นาน 1 และ 2 ชั่วโมง และ แช่ชุดเยื่อกรองและล้างย้อนด้วยสารละลายด่างของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 N –นาน 1 และ 2 ชั่วโมง) นั้น ลดค่าความต้านทานเมมเบรนคงเหลืออยู่ได้เพียงเล็กน้อย และไม่สามารถฟื้นสภาพให้ชุดเยื่อกรองให้มีค่าความต้านทานหลังสิ้นสุดการล้างเท่ากับเมมเบรนสะอาดก่อนใช้ทำการกรองเพิ่มขึ้นประมาณกว่าร้อยละ 50 ซึ่งต้องปรับเพิ่มความเข้มข้นและระยะเวลาการล้างด้วยสารเคมี 2 ชนิดดังกล่าว ส่วนค่าความต้านทานเมมเบรนในชุดการทดลองน้ำผิวดินที่เติมสารเฟอริกคลอไรด์ปริมาณที่เหมาะสม 20 mg/L โดยไม่เติมอากาศและเดินระบบที่ค่าฟลักซ์วิกฤต (106 L/h/m^2) พบว่า ค่าความต้านทานเมมเบรนเมื่อสิ้นสุดการกรองเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากเมมเบรนสะอาดก่อนกรอง และมีค่าลดลงบ้างเมื่อเสร็จสิ้นการล้างด้วยขั้นตอนต่างๆ ภายใต้เทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์ เมื่อเข้าสู่การล้างฟื้นสภาพด้วยการใช้สารเคมีที่เป็นกรดซิตริก และด่างของโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยการกรองย้อน พบว่า ลดลงไม่แตกต่างจากขั้นตอนแรก ซึ่งค่าความต้านทานเมื่อเสร็จสิ้นจากชุดการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่ามีฟาวลิ่งน้อยมากหรือแทบไม่มี เนื่องจากค่าความต้านทานไม่แตกต่างจากค่าความต้านทานเมมเบรนสะอาดก่อนใช้งาน

- กรณีน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สอง นั้น สาเหตุของฟาวลิ่งที่เกิดขึ้นจากที่ผันกลับได้และไม่สามารถผันกลับได้ ซึ่งแบบหลังเป็นสาเหตุหลักมากกว่าที่ทำให้ค่าความต้านทานคงเหลือค้างอยู่มาก โดยผลจากการล้างด้วยสารเคมีนั้นค่าความต้านทานลดลงเล็กน้อยอีกประมาณร้อยละ 6-18 ซึ่ง สาเหตุจากการสะสมของฟาวลิ่งแบบไม่สามารถผันกลับได้ของสารอินทรีย์ธรรมชาติละลายน้ำส่งผลให้ค่าความต้านทานสูงกว่าในเมมเบรนสะอาดประมาณร้อยละ 40-60 ในชุดการทดลองที่ไม่เติมสารดูดติดผิวที่ค่าฟลักซ์สูงและต่ำกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% ซึ่งต้องเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีและระยะเวลาในการล้างให้ยาวนานขึ้น และการเติมผงถ่านกัมมันต์เป็นการปรับสภาพน้ำทิ้งหลัง

บำบัดฯ แล้ว ที่ทำให้ลดระดับของฟาวลิ่งแบบไม่สามารถผันกลับได้ ทำให้การล้างด้วยเทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์และล้างด้วยสารเคมีสามารถฟื้นสภาพชุดเมมเบรนได้สมบูรณ์ ส่วนชุดการทดลองน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สองที่ทำการเติมถ่านกัมมัดน์ชนิดผง 500 mg/L ไม่มีการเติมอากาศ และเดินระบบด้วยค่าฟลักซ์สูงกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% พบว่า ค่าความต้านทานเมมเบรนเมื่อสิ้นสุดการกรองเพิ่มจากค่าความต้านทานของเมมเบรนสะอาดเกือบ 4 เท่า โดยเมื่อล้างด้วยเทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์แล้วมีค่าลดลงเป็นลำดับ ส่วนผลของการล้างด้วยกรดซิตริกและด่างที่อัตราการกรองย้อนต่ำสามารถกำจัดฟาวลิ่งแบบไม่สามารถผันกลับได้ โดยค่าความต้านทานลดลงเป็นลำดับอีกประมาณร้อยละ 1-31 ทั้งนี้ในชุดการทดลองนี้ขั้นตอนการล้างทั้งหมดสามารถฟื้นสภาพชุดเมมเบรนได้อย่างสมบูรณ์ ไม่พบฟาวลิ่งตกค้างเนื่องจากเป็นผลจากการเติมผงถ่านกัมมันต์ที่สามารถดูดติดสารละลายอินทรีย์ในน้ำทิ้งซึ่งเป็นสาเหตุของฟาวลิ่งแบบไม่ผันกลับแม้ว่าจะเดินระบบกรองที่ค่าสูงกว่าค่าฟลักซ์วิกฤตก็ตาม

6. ผลการศึกษาเพื่อทดสอบสมรรถนะการเดินระบบแบบต่อเนื่อง: กรณี Model suspension (สารละลายกรดฮิวมิก สารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์ สารแขวนลอยผงถ่านกัมมันต์ และสารผสมสองชนิด) พบว่า ค่าอัตราเร็วของการเกิดฟาวลิ่ง (dTMP/dt) สูงสุดเมื่อกรองสารละลายกรดฮิวมิกความเข้มข้น 10 mg/L คือ 1.12 mbar/s เมื่อกรองที่ค่าฟลักซ์คงที่ที่ 30 $L/h/m^2$ และไม่มีการเติมอากาศ ซึ่งเป็นสูงกว่าประมาณ 10 เท่าตัว เทียบกับค่าอัตราเร็วฟาวลิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อกรองกรดฮิวมิกความเข้มข้น 5 mg/L และการกรองสารแขวนลอยอนุภาคที่ความเข้มข้นสูงของเบนโทไนต์และผงถ่านกัมมันต์ นั้น การเปลี่ยนแปลงของค่าความดันส่งผ่านเมมเบรนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นกราฟลักษณะเส้นตรง ซึ่งแสดงว่าเกิดชั้นเค้กสะสมที่ผิวหน้าเมมเบรน และค่าอัตราเร็วการเกิดฟาวลิ่งสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคขณะกรองเพิ่มขึ้น และการผสมสารละลายกรดฮิวมิก ซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กรวมกับสารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์/ผงถ่านกัมมันต์ ทำให้อัตราเร็วการเกิดฟาวลิ่งสูงกว่าเมื่อกรองสารแขวนลอยเพียงชนิดเดียว

7. ผลการศึกษาสาเหตุ กลไกการอุดตัน และประสิทธิภาพการล้างเพื่อฟื้นสภาพเยื่อกรอง:กรณี Model suspension (สารละลายกรดฮิวมิก สารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์ สารแขวนลอยผงถ่านกัมมันต์ และ สารผสมสองชนิด)ผลการศึกษาสาเหตุ กลไกการอุดตัน และประสิทธิภาพการล้างเพื่อฟื้นสภาพเยื่อกรอง: กรณี Model suspension (สารละลายกรดฮิวมิก สารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์ สารแขวนลอยผงถ่านกัมมันต์ และสารผสมสองชนิด) ซึ่งใช้วิธีการเช่นเดียวกับการทดสอบที่เดินระบบกรองแบบต่อเนื่อง ที่ค่าฟลักซ์คงที่ทั้งในชุดการทดลองของน้ำผิวดินและน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สอง และดำเนินการล้างเยื่อกรองด้วยเทคนิคไฮโดรไดนามิกส์ร่วมกับการใช้สารเคมีชนิดกรดและด่างเพื่อระบุสาเหตุและระดับของฟาวลิ่งที่เกิดขึ้น จากการสรุปค่า

ความต้านทานภายหลังเสร็จสิ้นการล้างฟื้นสภาพด้วยขั้นตอนต่างๆ พบว่า ฟาวลิ่งแบบผันกลับได้เป็นชนิดของฟาวลิ่งที่พบเมื่อกรองสารแขวนลอยเดี่ยวของอนุภาคเบนโทไนต์และผงถ่านกัมมันต์ ขณะที่ระดับของค่าความต้านทานคงเหลือค้างในเมมเบรนขณะล้างชุดกรองเมื่อกรองสารละลายกรดฮิวมิก หรือ สารผสมระหว่างสารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์ ผงถ่านกัมมันต์ กับ กรดฮิวมิก พบว่ามีค่าความต้านทานคงเหลือค้างสูง ซึ่งสามารถฟื้นสภาพชุดเมมเบรนได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ ค่าความต้านทานเมมเบรนสุดท้ายใกล้เคียงหรือเท่ากับเมมเบรนสะอาดก่อนกรอง เมื่อใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่าง คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นั่นแสดงว่า เป็นฟาวลิ่งแบบผันกลับไม่ได้