บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาความสามารถในกรองตัวอย่างน้ำใช้และน้ำเสียที่มีความหลายหลายขององค์ประกอบสารอนินทรีย์ และสารอินทรีย์ต่างๆในรูปแขวนลอย และละลายน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้สมรรถนะของการกรองด้วยเยื่อกรองชนิดรูพรุนระดับไมโครฟิลเตรชั่นและอัลตราฟิลเตรชั่นลดลงกรณีประยุกต์ใช้ในงานปรับปรุงคุณภาพน้ำใช้และงานบำบัดน้ำเสียในรูปของถังปฏิกรณ์ชีวภาพเยื่อกรอง หรือ ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดสุดท้ายเนื่องจากภาวะการขาดแคลนแหล่งน้ำต้นทุนที่มีคุณภาพในการผลิตน้ำประปาหรือเพื่อนำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ในกิจกรรมของภาคอุตสาหกรรมและชุมชน เป็นต้น

การเปรียบเทียบและประเมินความสามารถในกรองตัวอย่างน้ำป้อนที่เป็นน้ำเสียจากขั้นตอนต่างๆของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ และตัวอย่างน้ำป้อนที่เป็นน้ำใช้ ได้แก่ สารละลายอนุภาคเบนโทไนต์ น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ สารละลายสารส้ม และสารละลายผงถ่านกัมมันต์ เพียงชนิดเดียวและร่วมกันหลายชนิด โดยใช้ทฤษฎีแบบจำลองการกรองบนชั้นเค้ก (Cake filtration model) มาประเมินความสามารถในการกรองแต่ละตัวอย่างในสภาวะการทดสอบที่ใช้ความดันคงที่ 2 ค่า คือ กรองที่ความดัน 0.5 บาร์ และความดัน 0.2 บาร์ ด้วยเยื่อกรองขนาดรูกรอง 0.22 μm และ 0.05 μm ซึ่งเป็นช่วงของขนาดรูกรองที่กักกันอนุภาค สารละลายในระดับไมโครฟิลเตรชั่นและระดับอัลตราฟิลเตรชั่น ทั้งนี้การกรองในรูปแบบปิดตาย อนุภาคในน้ำป้อนจะสะสมตัวบนผิวหน้าเยื่อกรองขณะกรอง และน้ำที่ผ่านการกรองจะเคลื่อนตัวผ่านชั้นเค้กที่ทำหน้าที่เป็นชั้นกรองที่สอง ความสามารถในการกรองผ่านประเมินจากค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทาน (α.W) และค่าความต้านทานจำเพาะของชั้นเค้ก (α) ซึ่งวิเคราะห์จากกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความสัมพันธ์ระหว่าง t/V กับ V ภาพรวมทั้งหมดของค่า α.W ซึ่งเป็นตัวเลขเชิงปริมาณระดับฟาวลิ่งที่เกิดขึ้น โดยสรุปผลการวิจัยดังนี้

1. ผลการศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นน้ำเสียจากขั้นตอนต่างๆในระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ คือ น้ำตะกอนในถังเติมอากาศ (MLSS) น้ำทิ้งหลังแยกตะกอน (ออกจากถังตกตะกอน) และน้ำทิ้งบำบัดสุดท้ายก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะ พบว่า ความแตกต่างกันขององค์ประกอบอินทรีย์แขวนลอย และองค์ประกอบอินทรีย์ละลายน้ำซึ่งมีขนาดอนุภาคและขนาดหน้าตัดมวลโมเลกุล และความเข้มข้นขององค์ประกอบในตัวอย่างที่ทดสอบส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการกรอง ที่สภาวะการทดสอบเดียวกัน โดยทุกตัวอย่างน้ำเสียจากขั้นตอนต่างๆของระบบบำบัดฯ ขณะกรองด้วยเยื่อกรองสอง

ขนาดรูกรองและใช้ความดันสองค่า พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานและค่าความต้านทานจำเพาะทางชลศาสตร์ เพิ่มขึ้น ณ. เวลาเริ่มต้นของการกรองเนื่องจากการเกิดฟาวลิ่งอย่างรวดเร็วของอนุภาคสะสมที่ผิวหน้าและร่วมกับการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย คอลลอยด์

2. ค่า α.W และ α โดยรวมแล้ว พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำป้อนซึ่งมีองค์ประกอบของสารแขวนลอยอินทรีย์ที่มีขนาดต่างๆในช่วงที่กว้าง (ระดับคอลลอยด์และแขวนลอยขนาดใหญ่ที่ตกตะกอนได้) ร่วมกับสารละลายอินทรีย์ เช่น โปรตีน น้ำตาลโมเลกุลคู่ กรดอินทรีย์ในน้ำเสีย ทั้งนี้ในตัวอย่างน้ำตะกอนแขวนลอยจุลินทรีย์ มีบทบาทยั่วยุให้เกิดฟาวลิ่งแบบผันกลับไม่ได้ (Irreversible Fouling) ทั้งในกรณีที่กรองรวมและกรองตัวอย่างที่แยกเอามวลแบคทีเรียแขวนลอยออก แสดงให้เห็นว่าชั้นของสารต่างๆที่เป็นอินทรีย์สารละลายน้ำในน้ำตะกอนนั้นเกิดเป็นชั้นสะสมที่เคลือบผิวที่ไม่หนาแต่มีความพรุนต่ำและเป็นกลุ่มโมเลกุลที่ทำให้เกิดฟาวลิ่งแบบผันกลับไม่ได้ ขณะที่ค่าดังกล่าวเป็นอิสระกับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูป COD ที่เพิ่มขึ้นเมื่อกรองที่ความดัน 0.5 บาร์

3. ระดับของค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทาน และค่าความต้านทานจำเพาะที่เกิดขึ้นในเยื่อกรองที่ใช้ทดสอบมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละสภาวะที่ศึกษา ทั้งนี้ค่าดังกล่าวเกิดขึ้นในเยื่อกรองที่มีขนาดรูกรอง 0.22 µm แตกต่างกันน้อย และมีแนวโน้มสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่พบในเยื่อกรองที่มีขนาดรูกรอง 0.05 µm ที่แต่ละค่าความดันทดสอบที่ค่า COD เริ่มต้นใกล้เคียงกัน

4. ความสามารถในการกรองตัวอย่างน้ำใช้ (สารละลายเบนโทไนต์) น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำฯ และน้ำทิ้งหลังบำบัดก่อนปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ที่มีความแตกต่างกันของสัดส่วนองค์ประกอบอนินทรีย์แขวนลอย สารอินทรีย์แขวนลอยและสารอินทรีย์ละลายน้ำตามธรรมชาตินั้น พบว่าค่า α.W และ α เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของอนุภาคเบนโทไนต์ในทุกชุดการทดสอบ โดยค่า α.W และ α ขณะกรองตัวอย่างน้ำทิ้งหลังบำบัดฯมีค่าสูงกว่าค่าที่คำนวณได้จากการกรองตัวอย่างน้ำใช้ทั้งสองประเภทถึง 5-20 เท่า และเมื่อกรองที่ค่าความดันสูงขึ้นส่งผลในทิศทางที่ทำให้ค่า α.W และ α เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากการกรองที่ความดัน 0.2 บาร์ และผลของขนาดรูกรอง นั้น ไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดว่าขนาดรูกรองใดให้ค่า α.W และ α ที่ต่ำกว่าทั้งนี้มีปัจจัยความแตกต่างกันของสมบัติน้ำป้อนที่ใช้ทดสอบ โดยพบว่า การกรองสารละลายอนุภาคเบนโทไนต์และน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำฯ ด้วยเยื่อกรองขนาดรูกรอง 0.22 µm และ 0.05 µm ให้ค่า α.W และ α ที่ใกล้เคียงกันในชุดการทดสอบที่สองค่าความดันเดียวกัน ขณะที่ ค่า α.W และ α มีแนวโน้มต่ำกว่าเมื่อกรองตัวอย่างน้ำทิ้งหลังบำบัดฯด้วยเยื่อกรองขนาดรูกรอง 0.05 µm เปรียบเทียบกับการกรองด้วยเยื่อกรองขนาดรูกรอง 0.22 µm ทดสอบที่ความดันเดียวกัน

5. ตัวอย่างน้ำใช้และน้ำทิ้งหลังบำบัดฯที่ปรับสภาพด้วยสารสร้างตะกอน และ/หรือ สารละลายผงถ่านกัมมันต์ พบว่าเมื่อระยะเวลาการกรองเพิ่มขึ้นค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ t/V กับ V คงที่จนสิ้นสุดการกรองซึ่งแสดงถึงความคงที่ของสมบัติของโครงสร้างชั้นสะสมบนผิวหน้าเยื่อกรองที่ไม่เพิ่มขึ้นตามเวลาการกรองและสอดคล้องกับค่า α.W และ α ที่มีแนวโน้มต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้ขณะกรอง

ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการปรับสภาพถึง 5-20 เท่า การสะสมของอนุภาคผงถ่านกัมมันต์ที่ผิวหน้าเยื่อกรองขณะกรองตัวอย่างน้ำที่ปรับสภาพแล้ว พบว่า ให้ค่า α.W และ α ต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้ขณะกรองตัวอย่างที่ไม่ปรับสภาพ 2-20 เท่า แสดงว่าชั้นสะสมของสารแขวนลอยในตัวอย่างน้ำที่ปรับสภาพแล้วเป็นชั้นสะสมที่มีความหนาแต่มีความพรุนต่ำเนื่องจากการจัดเรียงโครงสร้างขณะกรองที่เรียงตัวกันแบบไม่อัดตัวแน่น ซึ่งเป็นลักษณะของฟาวลิ่งแบบผันกลับได้ และเป็นเสมือนชั้นกรองที่สองที่ทำให้อัตราการไหลซึมผ่านของน้ำกรองคงที่ ทั้งนี้ความเข้มข้นและชนิดของสารสร้างตะกอนที่ใช้ทั้งสองชนิดส่งผลให้ ค่า α.W และ α ขณะกรองตัวอย่างใดๆ มีความแตกต่างกัน

6. ประสิทธิภาพของเยื่อกรองในการกักกันสารแขวนลอยอินทรีย์และสารละลายอินทรีย์ในน้ำเสียและน้ำทิ้งอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมากในทุกตัวอย่างที่ทดสอบ โดยสามารถกักกันสารแขวนลอยอินทรีย์ในเทอมค่าความขุ่นในน้ำหลังกรองโดยรวม ต่ำกว่า 5 NTU ในขณะที่ค่า COD ในน้ำภายหลังกรองแล้วมีค่าลดลงกว่า 50-90% ซึ่งแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบของชนิดน้ำเสียป้อนเข้าระบบ และ ความเข้มข้นเริ่มต้นที่กรอง โดยเยื่อกรองที่มีขนาดรูกรอง 0.05 μm สามารถกักกันสารแขวนลอยและสารละลายน้ำได้สูงกว่า 40-90% เมื่อเทียบกับการใช้เยื่อกรองขนาดรูกรอง 0.22 μm

7. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ มีประสิทธิภาพสูงกว่าสารละลายสารส้มในกระบวนการสร้างรวมตะกอน โดยสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติละลายน้ำในตัวอย่างน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำฯ ได้ดีทั้งในกรณีที่ใช้ร่วมกับการกรองด้วยเยื่อกรองและกรณีที่ใช้วิธีทำใสด้วยการตกตะกอนในชุดทดสอบ Jar Test

8. ประสิทธิภาพเยื่อกรองในการกักกันสารแขวนลอยอนินทรีย์ อินทรีย์และสารละลายอินทรีย์ธรรมชาติในตัวอย่างน้ำใช้ และน้ำทิ้งหลังบำบัดฯที่ไม่ปรับสภาพและปรับสภาพด้วยสารสร้างตะกอน และ/หรือ สารละลายผงถ่านกัมมันต์ พบว่า มีคุณภาพน้ำทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ มีค่าความขุ่นต่ำกว่า 5 NTU ปริมาณสีทั้งหมดลดลงมากกว่า 90 % ในขณะที่คุณภาพทางเคมีในเรื่องของปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติละลาย และความเข้มข้นของกรดฮิวมิกในตัวอย่างน้ำผิวดิน พบว่า การกรองตัวอย่างน้ำผิวดินโดยตรงด้วยเยื่อกรองขนาดรูกรอง 0.22 และ 0.05 μm ที่สองค่าความดัน ไม่สามารถกักกันหรือลดปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปละลายน้ำได้ การปรับสภาพน้ำผิวดินด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์หรือสารละลายผงถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียว แล้วกรองด้วยเยื่อกรองขนาดรูกรอง 0.22 และ 0.05 μm ทั้งสองค่าความดันสามารถกักกันหรือลดปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติซึ่งอยู่ในรูปละลายน้ำได้บ้าง ขณะที่การใช้สารปรับสภาพทั้งสองร่วมกันส่งผลให้คุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดฯ ดีขึ้น โดย พบว่า สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติละลายน้ำ และความเข้มข้นของกรดฮิวมิก ได้ไม่ต่ำกว่า 60-70 % ประสิทธิภาพในการกักกันสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งหลังบำบัดที่อยู่ในรูป COD ได้ระหว่าง 50-60 % และปริมาณสีทั้งหมดลดลงกว่า 90 %

ดังนั้นสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพที่สูงของกระบวนการแยกด้วยเยื่อกรองสำหรับงานด้านน้ำเสีย (ใช้เยื่อกรองทำหน้าที่แทนถังตกตะกอน) การใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดเพื่อนำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ (ใช้เยื่อกรองกับน้ำทิ้งจากถังตกตะกอน) และเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำใช้จากแหล่งต่างๆ ต้องควบคุมกระบวนการแยกให้มีสมรรถนะสูง เดินระบบได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพในการทำให้น้ำหลังกรองให้มีคุณภาพดีขึ้นในระดับที่ใช้เป็นน้ำใช้ในกิจกรรมต่างๆ ได้ โดยจำเป็นต้องควบคุมปฏิกริยาชีวภาพในการบำบัดภายในถังปฏิกรณ์ และใช้การปรับสภาพน้ำใช้ น้ำทิ้งด้วยกระบวนการต่างๆร่วมกับการแยกด้วยเยื่อกรองระดับไมโครฟิลเตรชั่นและอัลตราฟิลเตรชั่น เช่น การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ การเติมสารสร้างตะกอนซึ่งทำให้อนุภาครวมเป็นฟล็อคขนาดใหญ่ซึ่งหากสะสมตัวบนผิวเยื่อกรองแล้วจะเป็นชั้นเค้กที่มีความพรุนสูง ไม่อัดตัวกันแน่น **(Bouhabila et al., 2001)** ร่วมกับการเข้าใจธรรมชาติและลักษณะของน้ำป้อนที่มีความหลายหลายขององค์ประกอบ ขนาดการกระจายตัวของอนุภาคและโมเลกุลสารอินทรีย์ต่างๆ (ต้องใช้วิธีการ และ เทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการจำแนกชนิดขององค์ประกอบของน้ำป้อนร่วมในการวิเคราะห์ลักษณะน้ำป้อน) ก่อนเข้าสู่กระบวนการแยกด้วยเยื่อกรองชนิดรูพรุนระดับไมโครฟิลเตรชั่นและอัลตราฟิลเตรชั่นต่อไป

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป

1. ศึกษาความสามารถในการกรองตัวอย่างน้ำผสมตะกอนจุลินทรีย์ในระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเยื่อกรองที่มีการเดินระบบอย่างต่อเนื่องที่สภาวะการศึกษาของระบบฯนั้น และเปรียบเทียบระดับการเกิดฟาวลิ่งในระบบกับค่าที่คำนวณได้จากการทดสอบในชุดกรองด้วยการกรองแบบปิดตาย
2. ศึกษาความสามารถในการกรองตัวอย่างน้ำที่เป็นสารละลายโมเดลโปรตีน สารอินทรีย์ธรรมชาติ แบบสารละลายเดี่ยวและแบบสารละลายผสมในสัดส่วนต่างๆที่สภาวะการทดสอบที่ค่าความดันและขนาดรูกรองต่างๆ
3. ศึกษาโครงสร้างของชั้นสะสม ลักษณะของฟาวลิ่งปรากฏ ด้วยการใช้กล้องอิเลคตรอนแบบส่องกราด และเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะชั้นวัสดุร่วม รวมถึงระบุชี้ชนิดของฟาวลิ่งที่เกิดขึ้นได้ด้วยเทคนิคการล้างเป็นขั้นตอน