บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่จะทำต่อไป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อสมรรถนะของกระบวนการ NF ในการกำจัด NOM ออกจากน้ำจาก 2 แหล่ง คือ น้ำจากคลองประปาสามเสน และน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ที่ทำในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

1) การใช้ค่าความดันในการดำเนินระบบที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าฟลักซ์ของน้ำ Permeate มีค่าสูงขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของค่าฟลักซ์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความดันที่เพิ่มขึ้น ตามสมการของแบบจำลองการละลาย-การแพร่ โดยในช่วงความดัน 1-5 bar เมมเบรนชนิด ES-10 NTR-729HF และ NTR-7410 ให้ค่าฟลักซ์ 1.62-9.94*10^{-7} m/s 4.75-29.19*10^{-7} m/s และ50.66-309.52*10^{-7} m/s ในการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน และ 1.06-5.47*10^{-7} m/s 2.03-13.54*10^{-7} m/s และ27.42-339.03*10^{-7} m/s สำหรับการดำเนินระบบกับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ตามลำดับ และการเพิ่มขึ้นของค่าความดันยังส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัด NOM ในน้ำจากทั้งสองแหล่งของเมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF มีค่าเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นนี้มีค่าไม่มากนัก เนื่องจากช่วงค่าความดันที่ใช้ในการทดลองมีค่าต่ำมาก และรูพรุนที่มีขนาดเล็กมากของเมมเบรนทั้งสองชนิด โดยประสิทธิภาพในการกำจัดค่า UV260 ของเมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF ในการดำเนินระบบกับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ (76.14-88.56% และ 58.68-91.67%) จะมีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพในการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน (89.46-98.74% และ 87.97-93.11%) เล็กน้อย เนื่องจากปริมาณ และขนาดของ NOM ในน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ที่น้อยกว่า ในขณะที่เมื่อใช้ค่าความดันมากกว่า 2 bar ดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสนโดยใช้เมมเบรนชนิด NTR-7410 จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัด NOM มีค่าลดลง แต่เมื่อใช้เมมเบรนชนิดเดียวกันกับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ ประสิทธิภาพในการกำจัด NOM กลับเพิ่มขึ้นตามค่าความดัน ทั้งนี้เนื่องจากรูพรุนที่มีขนาดใหญ่(เมื่อเทียบกับเมมเบรนอีก 2 ชนิดที่ใช้) และผลของการเกิด Concentration Polarization

2) ค่า Crossflow Velocity ที่มากขึ้นจะช่วยให้ประสิทธิภาพของเมมเบรนในการกำจัด NOM มีมากขึ้นซึ่งสามารถเห็นผลได้อย่างชัดเจนในการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน เมื่อใช้เมมเบรนชนิด NTR-7410 เนื่องจากค่า Crossflow Velocity ที่เพียงพอจะช่วยลดการสะสมตัวของอนุภาค และสารละลายที่ผิวเมมเบรน ทำให้ลดการเกิด Concentration Polarization แต่ในการดำเนินระบบกับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ จะไม่เห็นผลการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการกำจัด NOM ที่ชัดเจนเท่ากับการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสน เนื่องจากปริมาณ NOM ที่มีน้อยกว่า ทำให้การสะสมตัวของ NOM ที่ผิวเมมเบรนเมื่อใช้ค่า Crossflow Velocity ต่ำ ๆ มีไม่มาก โดยค่า Crossflow Velocity ที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อประสิทธิภาพของเมมเบรนชนิด ES-10 และ NTR-729HF ไม่มากนัก เนื่องจากขนาดรูพรุนที่เล็กมากของเมมเบรนทั้งสองชนิด นอกจากนี้ยังไม่เห็นผลของค่า Crossflow Velocity ต่ำ ๆ ที่มีต่อการลดลงของค่าฟลักซ์ในการดำเนินระบบโดยใช้เมมเบรนทั้งสามชนิด กับน้ำทั้งสองแหล่ง เนื่องจากค่าฟลักซ์ที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่เวลาเพียง 1 และ 2 ชั่วโมง ซึ่งยังไม่เกิดผลของการอุดตันของเมมเบรน

3) ผลของค่าพีเอชของน้ำในช่วง 4-8 ในการดำเนินระบบกับน้ำจากทั้งสองแหล่ง โดยใช้เมมเบรนทั้งสามชนิด พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่า UV260 มีค่าลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าความนำไฟฟ้ากลับมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากลไกการกรองติดผิวเมมเบรน คือกลไกหลักที่สำคัญกว่าแรงผลักระหว่างประจุไฟฟ้าระหว่างผิวของเมมเบรนกับ NOM ในการกำจัด NOM โดยเมมเบรนทั้งสามชนิด เนื่องจากเมื่อพีเอชมีค่ามากขึ้นจะทำให้ NOM โดยเฉพาะสารฮิวมิกมีขนาดเล็กลง และมีความสามารถในการละลายที่มากขึ้น ทำให้สามารถแพร่ผ่านเมมเบรนได้มากขึ้น ในขณะที่เมื่อค่าพีเอชต่ำลง ประจุลบที่ผิวของเมมเบรนทั้งสามชนิดจะมีค่าน้อยลงด้วย ส่งผลให้อิออนต่าง ๆ สามารถแพร่ผ่านเมมเบรนได้มากขึ้น โดยค่าพีเอชของน้ำไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์ของเมมเบรนทั้งสามชนิด ถึงแม้ว่าที่ค่าพีเอชสูงและที่ค่าพีเอชต่ำจะทำให้ NOM และอิออนต่าง ๆ แพร่ผ่านเมมเบรนได้มากขึ้น ทำให้ค่าฟลักซ์ของตัวถูกละลายมีค่าเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นนี้ถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าฟลักซ์ของ Permeate

4) ความเข้มข้นของโบรไมด์ที่เติมลงไปในน้ำดิบในช่วง 0-0.8 mg/L ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด NOM ของเมมเบรนทั้งสามชนิดในการดำเนินระบบกับน้ำจากทั้งสองแหล่ง โดยความแตกต่างกันเล็กน้อยของประสิทธิภาพในการกำจัด NOM อาจเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของลักษณะสมบัติของน้ำดิบที่ใช้ในแต่ละครั้งของการทดลอง และพบว่าเมมเบรนชนิด ES-10 สามารถกำจัดโบรไมด์ออกจากน้ำจากทั้งสองแหล่งได้จนไม่สามารถตรวจพบโดยเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้ ในขณะที่เมมเบรนชนิด NTR-729HF และ NTR-7410 มีประสิทธิภาพในการกำจัดโบรไมด์ที่ค่อนข้างต่ำ คือไม่เกิน 8% และ 3% สำหรับเมมเบรนชนิด NTR-729HF และ NTR-7410

ตามลำดับ ในการดำเนินระบบกับน้ำจากทั้งสองแหล่ง ทั้งนี้เนื่องมาจากความหนาแน่นของประจุที่ผิวของเมมเบรนชนิด ES-10 ที่มีมากกว่า และจากผลการทดลองยังพบว่า ความเข้มข้นของโบรไมด์ในช่วงค่าที่ใช้ ไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์ของเมมเบรนทั้งสามชนิด

5) จากค่าอัตราส่วน $UV_{7}260$:TOC ของน้ำดิบจากคลองประปาสามเสน และน้ำดิบจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0507 และ 0.0057 cm^{-1}:mg/L ตามลำดับ สามารถวิเคราะห์ได้ว่า NOM ที่อยู่ในน้ำจากคลองประปาสามเสนส่วนใหญ่เป็นสารฮิวมิก ซึ่งมีขนาดและน้ำหนักโมเลกุลสูงในขณะที่ NOM ที่อยู่ในน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ ส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ประเภทอื่น ๆ หรือสารฮิวมิกที่มีขนาดและน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และจากค่าอัตราส่วน $UV_{7}260$:TOC ของน้ำ Permeate ในการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสนที่ลดลงเหลือ 0.0219 cm^{-1}:mg/L แสดงให้เห็นว่า NOM ที่ถูกกำจัดโดยเมมเบรนเป็น NOM ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาถึงผลของค่าพีเอชที่สรุปได้ว่า กลไกสำคัญในการกำจัด NOM โดย NF เมมเบรน ทั้งสามชนิด คือกลไกการกรองติดผิวเมมเบรน ในขณะที่ค่า $UV_{7}260$:TOC ของน้ำ Permeate ในการดำเนินระบบกับน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ์กลับมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คือมีค่าเท่ากับ 0.0072 cm^{-1}:mg/L โดยน่าจะเกิดจากความไม่แม่นยำของเครื่องมือวิเคราะห์ค่า TOC เมื่อปริมาณของ TOC ในน้ำมีค่าน้อยมาก ๆ โดยจะเห็นได้ชัดเจนจากค่า R^2 ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ

6) จากการเปรียบเทียบถึงสมรรถนะของ NF เมมเบรนทั้งสามชนิด ที่ใช้ในงานวิจัย พบว่าเมมเบรนชนิด ES-10 มีประสิทธิภาพในการกำจัด NOM และโบรไมด์ที่ดีที่สุด แต่ให้ค่าฟลักซ์ที่ต่ำที่สุด ส่วนเมมเบรนชนิด NTR-7410 จะให้ค่าฟลักซ์ที่สูงที่สุด แต่ประสิทธิภาพในการกำจัด NOM และโบรไมด์มีค่าต่ำ ในขณะที่เมมเบรนชนิด NTR-729HF ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดโบรไมด์ค่อนข้างต่ำ แต่สามารถกำจัด NOM ได้มาก และให้ค่าฟลักซ์ที่มากกว่าเมมเบรนชนิด ES-10 ถึง 3.3 เท่า ดังนั้น เมมเบรนชนิด NTR-729HF จึงเป็นเมมเบรนที่ควรพิจารณาเลือกใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาถึงการลดผลของการเกิดสาร DBPs จากการมี NOM ในน้ำ

7) ผลที่ได้จากการทดลองดำเนินระบบระยะยาวเป็นเวลา 24 ชั่วโมงโดยใช้เมมเบรนชนิด NTR-729HF กับน้ำจากคลองประปาสามเสนที่บำบัดขั้นต้นด้วยวิธีที่ต่างกัน 3 วิธี คือMF ขนาดรูพรุน 0.1 μm และ Cartridge Filter ขนาด 1 และ 5 μm พบว่าค่าฟลักซ์มีค่าค่อนข้างคงที่ตามเวลาที่ใช้ในการดำเนินระบบ เช่นเดียวกับ%กำจัดค่า UV260 ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าความดันที่ใช้ในการทดลองมีค่าค่อนข้างต่ำมาก คือเพียง 3 bar ทำให้เห็นผลของการอัดตัว และการอุดตันของเมมเบรนที่จะส่งผลให้ค่าฟลักซ์ และ%กำจัดค่า UV260 มีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ไม่ชัดเจน

8) เมื่อเปรียบเทียบถึงสมรรถนะของเมมเบรนชนิด NTR-729HF ในการดำเนินระบบกับน้ำจากคลองประปาสามเสนที่บำบัดขั้นต้นต่างกัน พบว่าการบำบัดขั้นต้นโดยใช้ MF ขนาดรูพรุน 0.1 μm จะให้ค่าฟลักซ์ที่สูงกว่า การบำบัดขั้นต้นโดย Cartridge Filter ทั้งสองขนาดอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย MF มีปริมาณของ NOM ที่ต่ำกว่าทำให้ค่าแรงดันออสโมติกของน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย MF มีค่าน้อยกว่าซึ่งจะส่งผลให้ค่าฟลักซ์เมื่อดำเนินระบบกับ NF เมมเบรนมีค่ามากกว่าตามสมการของแบบจำลองการละลายการแพร่ แต่จากผลของการบำบัดขั้นต้นที่ต่างกัน ต่อประสิทธิภาพในการกำจัด NOM โดยเมมเบรนชนิด NTR-729HF กลับพบว่าน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย Cartridge Filter จะมีประสิทธิภาพในการกำจัด NOM ที่มากกว่าน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย MF เนื่องจากกลไกที่ใช้ในการกำจัด NOM โดย NF เมมเบรน คือกลไกการกรองติดผิวเมมเบรน จึงทำให้ NOM ที่มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่าในน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย Cartridge Filter ถูกกำจัดออกมากกว่า NOM ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กในน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย MF จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัด NOM โดยเมมเบรนชนิด NTR-729HF ในน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย Cartridge Filter ทั้งสองขนาดมีค่ามากกว่าน้ำที่บำบัดขั้นต้นโดย MF

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่จะทำต่อไป

1) งานวิจัยที่ทำการศึกษาถึงลักษณะสมบัติของน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา

ข้อมูลลักษณะสมบัติของน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของแหล่งน้ำต่าง ๆ ที่วิเคราะห์กันในประเทศไทย ไม่พอเพียงต่อการผลิตน้ำประปาที่มีคุณภาพสูงในอนาคต โดยเฉพาะข้อมูลที่เกี่ยวกับปริมาณ และลักษณะสมบัติของ NOM ในน้ำ เช่น ค่าUV260 ค่าTOC ส่วนประกอบของ NOM และความสัมพันธ์ระหว่างค่าUV260 กับปริมาณสาร DBPs ชนิดต่าง ๆ เป็นต้น รวมถึงปริมาณของโบรไมด์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อชนิด และปริมาณของสาร DBPs ที่จะเกิดขึ้น ดังนั้นจึงควรทำการวิจัยเพื่อเก็บข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้ ตลอดปี เพื่อใช้ในงานวิจัยอื่น ๆ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้สามารถผลิตน้ำประปาที่มีคุณภาพสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

2) งานวิจัยที่ศึกษาถึงการกำจัด NOM ออกจากน้ำโดยกระบวนการ NF ในระดับ Pilot scale

โดยผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ ซึ่งทำในระดับ Lab scale ทำให้สามารถเลือกใช้ค่าสภาวะในการดำเนินระบบที่เหมาะสม ดังนั้นจึงควรทำการวิจัยที่ศึกษาถึงสมรรถนะของกระบวนการ NF ในการกำจัด NOM ออกจากน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาในระดับ Pilot scale โดยใช้โมดูลของเมมเบรนที่เหมาะสมในการผลิตน้ำจริง เช่น Spiral Wound เป็นต้น

3) ศึกษาถึงการใช้กระบวนการบำบัดแบบอื่น ๆ ที่จะสามารถกำจัด NOM ออกจากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษาถึงการกำจัด NOM ออกจากน้ำเป็นการศึกษาที่ต้องทำเฉพาะในแต่ละแหล่งน้ำ เนื่องจากลักษณะสมบัติรวมถึงปริมาณของ NOM ตลอดจนสภาวะต่าง ๆ ในแต่ละแหล่งน้ำจะมีความแตกต่างกัน ดังนั้นกระบวนการบำบัดที่ล้มเหลวหรือมีประสิทธิภาพต่ำในการกำจัด NOM ออกจากแหล่งน้ำหนึ่ง ก็ไม่จำเป็นที่จะมีประสิทธิภาพต่ำในการกำจัด NOM ออกจากน้ำในแหล่งน้ำอื่น ๆ ดังนั้นจึงน่าจะมีการทำการวิจัยเพื่อใช้กระบวนการอื่น ๆ ในการกำจัด NOM เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพของ Conventional Process การใช้กระบวนการ GAC เป็นต้น