บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่จะทำต่อไป

จากการวิจัยในเรื่องการเกิดฟาวลิ่งบนแผ่นเยื่อกรองในกระบวนการนาโนฟิลเตรชั่นสำหรับการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอในครั้งนี้สามารถสรุปผลงานวิจัยและมีข้อเสนอแนะในการที่จะศึกษาและวิจัยต่อไปดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองทั้งในห้องปฏิบัติการและที่โรงงาน กับน้ำทิ้งจริงจากกระบวนการฟอกย้อมที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นที่สองแล้ว สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. การเพิ่มความดันให้กับระบบสูงขึ้นจะให้อัตราการผลิตน้ำสะอาดที่สูงขึ้นด้วย ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งเจือปนต่าง ๆ จะเริ่มลดลง เนื่องมาจากที่ความดันในการเดินระบบที่สูงขึ้นจะทำให้สามารถเกิดปรากฏการณ์ Concentration Polarization ขึ้นได้ ทำให้ตัวถูกละลายต่าง ๆ แพร่ผ่านเมมเบรนออกมากับน้ำสะอาด ซึ่งเป็นสาเหตุหลักหนึ่งในการทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง จากการวิจัยพบว่าความดันในการเดินระบบที่เหมาะสมที่สุดกับระบบคือ 6 บาร์ (87.5 psi) ซึ่งจะให้ค่าฟลักซ์ของน้ำสะอาดเท่ากับ 11.54 x 10^{-9} $m^3/s.m^2$

2. การเพิ่มค่า Crosflow Velocity ให้มากขึ้นเพียงพอ จะช่วยลดปัญหาเรื่องการเกิด Concentration Polarization ได้ โดยจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่าการใช้ค่า Crossflow Velocity ที่ 0.5 m/s ก็เพียงพอที่จะช่วยลดปัญหาการเกิด Concentration Polarization ได้ เพราะเนื่องจากเมื่อเพิ่มค่า Crossflow Velocity ให้สูงขึ้น ประสิทธิภาพของระบบก็จะไม่สูงขึ้นมากนัก ในขณะที่เมื่อใช้ค่า Crossflow Velocity ที่ไม่เพียงพอจะทำให้อัตราการผลิตน้ำสะอาดของระบบค่อนข้างต่ำ ดังในงานวิจัยที่ใช้ค่าที่ 0.05 และ 0.1 m/s ซึ่งพบว่าให้ค่าฟลักซ์เฉลี่ยอยู่ที่ 9.05 และ 9.03 x 10^{-9} $m^3/s.m^2$ ตามลำดับแต่เมื่อเพิ่มค่า Crossflow Velocity ขึ้นเป็น 0.3 , 0.5 และ 0.7 จะให้ค่าฟลักซ์เฉลี่ยอยู่ที่ 10.52, 11.04 และ 11.31 x 10^{-9} $m^3/s.m^2$ ตามลำดับ

3. การเพิ่ม % Recovery มีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดตัวถูกละลายลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่ม % Recovery จะต้องมีการเวียนน้ำเข้มข้นกลับเข้าระบบ ทำให้น้ำดิบที่เข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้แนวโน้มในการเกิด Concentration Polarization และการเกิด Fouling นั้นสูงขึ้นด้วย และการเพิ่ม % Recovery เกิน 50 % ขึ้นไปกลับส่งผลให้อัตราการผลิตน้ำสะอาดลดลงเนื่องจากสาเหตุที่กล่าวมา โดยที่ฟลักซ์ของน้ำสะอาด ที่ค่า % Recovery 20, 30, 40, 50 และ 60 % มีค่าเท่ากับ 8.78, 9.23, 9.13, 10.12 และ 8.58 x 10^{-9} $m^3/s.m^2$ ซึ่งพบว่าค่า % Recovery ที่เหมาะสมที่สุดจะอยู่ที่ 40 เปอร์เซ็นต์

4. การเพิ่มระบบ Pretreatment ให้กับน้ำดิบที่จะเข้าระบบนาโนฟิลเตรชั่น จะช่วยให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้นและยังทำให้อัตราการลดลงของฟลักซ์ของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ลดลงไปด้วย และพบว่า Pretreatment ที่เหมาะสมกับระบบได้แก่ การเพิ่มระบบ ไมโครฟิลเตรชั่นเข้ากับระบบนาโนฟิลเตรชั่น เนื่องจากสามารถให้ค่าฟลักซ์ของน้ำสะอาดที่สูงกว่าและอัตราการลดลงของฟลักซ์ค่อนข้างต่ำมาก เมื่อเทียบกับการเติมกรดเป็น Pretreatment โดยค่าฟลักซ์ของน้ำสะอาดโดยเฉลี่ยเมื่อใช้ระบบไมโครฟิลเตรชั่น และการเติมกรดเป็นระบบ Pretreatment คือ 10.0 และ 8.85 x 10^{-9} $m^3/s.m^2$ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสาเหตุของการเกิด Fouling จนทำให้ฟลักซ์ของน้ำสะอาดลดลงนั้นเกิดมาจากการสะสมตัวอนุภาคแขวนลอยบนผิวหน้าของเมมเบรนมากกว่าจะเกิดจากการเกิดตะกรันของแคลเซียม ดูได้จากการใช้ระบบไมโครฟิลเตรชั่นเป็นระบบ Pretreatment จะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการเติมกรด เนื่องจากไมโครฟิลเตรชั่นเป็นไส้กรองที่มีขนาดรูพรุน ประมาณ 0.3 ไมครอน ซึ่งเล็กพอที่จะกรองเอาอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็กได้มากจนทำให้ระบบนาโนฟิลเตรชั่นไม่ต้องรับภาระหนักมาก ในขณะที่การเติมกรดไม่ได้มีผลในส่วนของการช่วยลดอนุภาคแขวนลอยน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิด Fouling เพียงแต่จะช่วยลดแนวโน้มในการเกิดตะกรันจับบนผิวหน้าของเมมเบรน และยังเป็นการเพิ่มปริมารตัวถูกละลายในน้ำดิบที่เข้าสู่ระบบนาโนฟิลเตรชั่นอีกด้วย

ด้วยเหตุนี้จึงสามารถสรุปได้ว่า ในการบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อม ด้วยระบบนาโนฟิลเตรชั่น ปัจจัยหลักที่จะก่อให้เกิด Fouling จะอยู่ที่อนุภาคแขวนลอยในน้ำทิ้ง มากกว่าจากเกิดตะกรันบนผิวหน้าเมมเบรน และระบบ Pretreatment ที่จำเป็นต้องเป็นระบบที่สามารถกำจัดอนุภาคสารแขวนลอยต่าง ๆ ในน้ำทิ้งให้ได้มากที่สุด ก่อนที่จะเข้าสู่ระบบนาโนฟิลเตรชั่น

5. คุณภาพของน้ำที่บำบัดได้จากระบบนาโนฟิลเตรชั่นนั้นค่อนข้างสูงมาก โดยเฉพาะสีที่สามารถกำจัดได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ตลอดการทดลอง รวมถึงสิ่งเจือปนอื่น ๆ ที่สามารถกำจัดได้ในอัตราส่วนที่สูงมาก และสามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการฟอกย้อมได้ เช่นในการซักล้างต่าง ๆ

(Soaping) ซึ่งไม่ต้องการน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก นอกจากนำกลับไปใช้ในกระบวนการแล้วยังสามารถนำกลับไปใช้ในส่วนของห้องน้ำ รดน้ำต้นไม้ ล้างพื้นที่ หรือเครื่องจักรต่าง ๆ เป็นต้น โดยที่ต้นทุนการบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมนั้นจะอยู่ที่ 13 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่จะทำต่อไป

จากงานวิจัยนี้ยังได้พบข้อที่น่าสนใจอีกหลายประการจากการใช้ระบบนาโนฟิลเตรชั่นกับอุตสาหกรรมฟอกย้อม และทำการศึกษาวิจัยต่อไป ได้แก่

1. การศึกษาถึงการนำน้ำที่ผลิตได้จากกระบวนการนาโนฟิลเตรชั่นกลับไปใช้ในส่วนต่าง ๆ ของกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด โดยพิจารณาจากคุณภาพน้ำ

2. การศึกษาถึงการบำบัดน้ำเข้มข้นที่เกิดจากระบบนาโนฟิลเตรชั่น เนื่องจากในการบำบัดด้วยกระบวนการนาโนฟิลเตรชั่นก็ยังจะเกิดของเสียส่วนหนึ่งออกมา ซึ่งอาจจะศึกษาถึงแนวทางในการจัดการกับของเสียส่วนนี้ต่อไป

3. การพัฒนาระบบบำบัดขั้นต้นก่อนที่จะถึงระบบนาโนฟิลเตรชั่น เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้พบว่า การใช้ไส้กรองไมโครฟิลเตรชั่นนั้นจะอุดตันค่อนข้างไว ซึ่งในการใช้งานจริงอาจจะมีปัญหาที่จะต้องเปลี่ยนบ่อย ๆ ซึ่งตรงนี้อาจจะศึกษาถึงระบบบำบัดขั้นต้นที่เหมาะสมและคุ้มค่าในการใช้งานที่สุดต่อไป

4. ศึกษาการใช้ระบบ Submerge Membrane Bio Reactor หรือการใช้เมมเบรนแบบไครฟิลเตรชั่นจุ่มลงในถังเติมอากาศโดยตรง และสูบเอาน้ำใสจากระบบไมโครฟิลเตรชั่นเข้าสู่กระบบการนาโนฟิลเตรชั่นต่อไป โดยนำมาแทนระบบเติมอากาศแบบเดิม เพื่อลดขนาดของถังเติมอากาศและตัดส่วนของระบบบำบัดขั้นต้นก่อนที่จะเข้าสู่ระบบนาโนฟิลเตรชั่นออกไป

5. ศึกษาถึงการใช้ระบบนาโนฟิลเตรชั่น ในการนำสีย้อมหรือวัตถุดิบในการผลิตอื่น ๆ เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เป็นการลดต้นทุนในด้านวัตถุดิบ