บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. การศึกษาค่าการดูดซึมน้ำของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิเมอร์กับสารตกตะกอนอนินทรีย์พบว่า สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟต ที่อัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าการดูดซึมน้ำตั้งแต่ 0.4±0.1 ถึง 8.4±2.2 กรัม/กรัมพอลิเมอร์แห้ง โดยเมื่อมีการใช้สารตกตะกอนอนินทรีย์เพิ่มขึ้นค่าการดูดน้ำจะลดลง และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) ซึ่งมีค่าการดูดน้ำ 1216±52 กรัม/กรัมพอลิเมอร์แห้ง เห็นได้ว่าสารประกอบเชิงซ้อนนี้มีค่าการดูดซึมน้ำลดลงประมาณ 99% ส่วนสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟต ที่อัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าการดูดซึมน้ำตั้งแต่ 1.2±0.7 ถึง 6.8±0.5 กรัม/กรัมพอลิเมอร์แห้ง โดยเมื่อมีการใช้สารตกตะกอนอนินทรีย์เพิ่มขึ้นค่าการดูดน้ำจะลดลง และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดซึ่งมีค่าการดูดน้ำ 209±12 กรัม/กรัมพอลิเมอร์แห้ง เห็นได้ว่าสารประกอบเชิงซ้อนนี้มีค่าการดูดซึมน้ำลดลงประมาณ 97-99% ทั้งนี้การที่สารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าวมีการดูดซึมน้ำลดลงจากพอลิเมอร์ตั้งต้นแสดงให้เห็นว่า พอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) และแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดมีการทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟตที่หมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์

2. หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์)กับอะลูมิเนียมซัลเฟต จะปรากฏพีกที่เลขคลื่น 3441 cm^{-1} (O-H stretching), 2958 cm^{-1} (C-H stretching), 1721 cm^{-1} (C=O stretching of –COOH), 1665 cm^{-1} (C=O stretching of –$CONH_2$), 1605 cm^{-1} (C=O asymmetric stretching for the carboxylate ion), กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะปรากฏพีกที่เลขคลื่น 3442 cm^{-1} (O-H stretching), 2948 cm^{-1}

(C-H stretching), 1671 cm^{-1} (C=O stretching of $-CONH_2$), 1557 cm^{-1} (C=O asymmetric stretching for the carboxylate ion), 1417 cm^{-1} (C=O asymmetric stretching for the carboxylate ion) และกับเฟร์ริกซัลเฟต ปรากฏพีกที่เลขคลื่น 3429 cm^{-1} (O-H stretching), 2954 cm^{-1} (C-H stretching), 1721 cm^{-1} (C=O stretching of –COOH), 1663 cm^{-1} (C=O stretching of $-CONH_2$), 1589 cm^{-1} (C=O asymmetric stretching for the carboxylate ion), 1425 cm^{-1} (C=O asymmetric stretching for the carboxylate ion) ส่วนสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับอะลูมิเนียมซัลเฟตจะปรากฏพีกที่เลขคลื่น 3441 cm^{-1} (O-H stretching), 2946 cm^{-1} (C-H stretching), 1728 cm^{-1} (C=O stretching of –COOH), 1621 cm^{-1} (C=O asymmetric stretching for the carboxylate ion), กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะปรากฏพีกที่เลขคลื่น 3398 cm^{-1} (O-H stretching), 2938 cm^{-1} (C-H stretching), 1554 cm^{-1} (C=O asymmetric stretching for the carboxylate ion), 1419 cm^{-1} (C=O asymmetric stretching for the carboxylate ion) และกับเฟร์ริกซัลเฟต ปรากฏพีกที่เลขคลื่น 3422 cm^{-1} (O-H stretching), 2940 cm^{-1} (C-H stretching), 1721 cm^{-1} (C=O stretching of –COOH), 1594 cm^{-1} (C=O asymmetric stretching for the carboxylate ion), 1426 cm^{-1} (C=O asymmetric stretching for the carboxylate ion)

3. เมื่อนำสารสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟตมาทำการศึกษาด้วย SEM พบว่าสารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน พื้นผิวของสารประกอบเชิงซ้อนของอะลูมิเนียมซัลเฟต และเฟร์ริกซัลเฟตมีความขรุขระเป็นร่องคลื่น ยกเว้นพื้นผิวของสารประกอบเชิงซ้อนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีความราบเรียบกว่า ส่วนสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟต พบว่ามีรูปร่างไม่แน่นอนเช่นกัน พื้นผิวแบนเรียบมีความขรุขระและมีรอยแตกในบางพื้นที่ และเมื่อนำมาทำ mapping เปรียบเทียบอะลูมิเนียม แคลเซียม และเฟร์ริกกับคาร์บอนพบว่าอะลูมิเนียม แคลเซียม และเฟร์ริกมีการกระจายตัวทั่วพื้นที่ผิวของสารประกอบเชิงซ้อนและมีพื้นที่ส่วนใหญ่ซ้อนทับกับคาร์บอน

4. เมื่อนำพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) แป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟต และสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟต มาตรวจหาองค์ประกอบด้วย SEM พบว่า พอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์)ซึ่งมีองค์ประกอบของโซเดียมถึง 13.95% เมื่อผ่านการทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟต ทำให้โซเดียมในสารประกอบเชิงซ้อนนี้ลดลง เช่นเดียวกับแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบถึง 14.14% เมื่อผ่านปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟต ทำให้โพแทสเซียมในสารประกอบเชิงซ้อนนี้ลดลง ในทางตรงกันข้ามพอลิเมอร์ที่ผ่านการทำปฏิกิริยากลายสารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้กลับมีองค์ประกอบของอะลูมิเนียม แคลเซียม และเฟร์ริกเพิ่มขึ้นจากเดิม นั่นแสดงให้เห็นว่าอะลูมิเนียม แคลเซียม และเฟร์ริกสามารถเข้าไปแทนที่โซเดียมและโพแทสเซียมได้

5. เมื่อพิจารณาจากการตรวจพบหมู่คาร์บอกซิเลต และเอไมด์ในสารประกอบเชิงซ้อนของพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) และหมู่คาร์บอกซิเลตในสารประกอบเชิงซ้อนของแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด อีกทั้งการตรวจพบอะลูมิเนียม แคลเซียม และเฟร์ริกในสารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) และแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟต ผ่านหมู่คาร์บอกซิลิกเลตไอออน หรือหมู่เอไมด์

6. เมื่อนำสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟต มาบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสี 49.1-51.0 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าสารประกอบเชิงซ้อนที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ตั้งแต่ 50% ขึ้นไปได้แก่สารประกอบเชิงซ้อนของอะลูมิเนียมซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:1 ในปริมาณ 2000 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราส่วน 1:2 ในปริมาณ 1000, 1500 และ 2000 มิลลิกรัม/ลิตร สารประกอบเชิงซ้อนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:0.5 ในปริมาณ 1000, 1500 และ 2000 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 ในปริมาณ 500, 1000, 1500 และ 2000

มิลลิกรัม/ลิตร โดยสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:2 ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด เนื่องจากใช้ปริมาณเพียง 500 มิลลิกรัม/ลิตร ก็สามารถลดสีได้ 88.5% และเมื่อนำสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟต มาบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสี 50.1-51.1 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าสารประกอบเชิงซ้อนที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ตั้งแต่ 50% ขึ้นไปได้แก่ สารประกอบเชิงซ้อนของอะลูมิเนียมที่อัตราส่วน 1:1 ในปริมาณ 1000, 1500 และ 2000 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราส่วน 1:2 ในปริมาณ 1500 และ 2000 มิลลิกรัม/ลิตร สารประกอบเชิงซ้อนของแคลเซียมที่อัตราส่วน 1:1 ในปริมาณ 1000, 1500 และ 2000 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราส่วน 1:2 ในปริมาณ 500, 1000, 1500 และ 2000 มิลลิกรัม/ลิตร และ สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กที่อัตราส่วน 1:2 ในปริมาณ 1500 และ 2000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:2 ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด เนื่องจากใช้ปริมาณเพียง 500 มิลลิกรัม/ลิตร ก็สามารถลดสีได้ 51.3% และลดได้สูงสุด 91.7% เมื่อใช้ในปริมาณ 2000 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนการใช้สารละลายของอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟตสามารถลดสีได้ 95% ขึ้นไป และเมื่อพิจารณาพีเอชภายหลังการบำบัดพบว่าการใช้สารละลายของอะลูมิเนียมซัลเฟต และเฟร์ริกซัลเฟตจะให้พีเอชที่ต่ำกว่าการใช้สารประกอบเชิงซ้อนของอะลูมิเนียมซัลเฟต และสารประกอบเชิงซ้อนของเฟร์ริกซัลเฟต ในขณะที่การใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะให้พีเอชที่สูงกว่าการใช้สารประกอบเชิงซ้อนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เมื่อพิจารณาสารประกอบเชิงซ้อนภายหลังการบำบัดพบว่า สารประกอบเชิงซ้อนสามารถดูดติดสีได้

7. ผลการศึกษาการลดค่าซีโอดีโดยใช้สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์)กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:2 เปรียบเทียบกับสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟต พบว่าสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟตให้ประสิทธิภาพในการ

ลดซีโอดีได้ดีกว่าสารประกอบเชิงซ้อน แต่ในขณะเดียวกันปริมาณของอะลูมิเนียม แคลเซียม และเฟร์ริกในน้ำภายหลังการบำบัดก็สูงกว่าการใช้สารประกอบเชิงซ้อน โดยเฉพาะสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะมีแคลเซียมปนในน้ำมากกว่าการใช้สารประกอบเชิงซ้อนถึง 80-91%

8. ผลการศึกษาการนำไปใช้ลดสีจากโรงงานอุสาหกรรมสิ่งทอนั้นพบว่า สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์)กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับแคลเซียม ไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:2 ไม่สามารถลดสีและซีโอดีได้ เนื่องจากในน้ำเสียจริงนั้นจะมีสีมากกว่า 1 ชนิดผสมกันอยู่ และยังมีสารช่วยย้อมซึ่งอาจไปขัดขวางกระบวนการตกตะกอน ทำให้สารประกอบเชิงซ้อนมีประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง

9. สรุปโดยรวมได้ว่า สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิเมอร์กับสารตกตะกอนอนินทรีย์มีประสิทธิภาพในการลดสีและกำจัดซีโอดีได้ไม่เทียบเท่ากับการใช้สารตกตะกอนอนินทรีย์ แต่ก็มีข้อดีคือให้ค่าพีเอชไม่สูงหรือต่ำกว่าการใช้สารตกตะกอนอนินทรีย์ และมีปริมาณโลหะที่ปนในน้ำภายหลังการบำบัดต่ำกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาปัจจัยในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิเมอร์กับสารตกตะกอนอนินทรีย์ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณพอลิเมอร์ต่อสารตกตะกอน ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาให้ละเอียดยิ่งขึ้น รวมถึงศึกษาลักษณะโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อน

2. ศึกษาการใช้สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิเมอร์กับสารตกตะกอนอนินทรีย์กับสีชนิดอื่น ๆ เช่น สีรีแอกทีฟ สีดิสเพิร์ส เป็นต้น

3. ศึกษาการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยเพิ่มปริมาณของสารประกอบเชิงซ้อน รวมถึงลองเปลี่ยนค่าพีเอช และชนิดของสารประกอบเชิงซ้อนอื่น ๆ