# บทที่ 5

# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ผลการทดลอง พบว่าขั้วอะลูมิเนียม และ ขั้วเหล็ก สามารถใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมผ้า ด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยเคมีไฟฟ้า (Electrocoagulation) ได้ดี โดยเฉพาะกับสีย้อมผ้าชนิด UNISET RED 2B พบว่าขั้วอะลูมิเนียม และขั้วเหล็กให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชนิดนี้ ทั้งในเรื่องการกำจัดสี และการลดค่าซีโอดีได้ดี แต่พบว่าการกำจัดสีสำหรับขั้วเหล็กจะให้ประสิทธิภาพน้อยกว่าการใช้ขั้วอะลูมิเนียม ในความเป็นจริงแล้ว น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองนี้พบว่าหลังการบำบัดของขั้วเหล็กจะมีความขุ่นอันเกิดจากการที่ธาตุเหล็กตามตารางธาตุพบว่าเหล็กอยู่ในกลุ่มของโลหะแทรนสิชัน ซึ่งไอออนของเหล็กจะมีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า แต่สำหรับการเกิดเป็นไอออนที่สำคัญ จะมีเลขออกซิเดชันอยู่ที่ +2 และ +3 ซึ่งการที่เลขออกซิเดชันที่ต่างกันจะให้สีต่างกัน เช่น ถ้ามีสีเหลืองเกิดจาก $Fe^{3+}$ หากเป็นสีเขียวเกิดจาก $Fe^{2+}$ ซึ่งต่างกับการใช้ขั้วอะลูมิเนียม พบว่าไอออนของอะลูมิเนียม ($Al^{3+}$) ที่ละลายน้ำไม่มีสี ดังนั้นหากเป็นการสังเกตด้วยตาเปล่า ก็จะเข้าใจว่าอะลูมิเนียมให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดีกว่า แต่พบว่าหากใช้ภาวะที่เหมาะสมการใช้ขั้วเหล็กในการบำบัดจะให้น้ำที่มีความใสได้เหมือนกัน ความแตกต่างอีกหนึ่งอย่างนั่นคือ ระยะเวลาในการตกตะกอน พบว่าขั้วทั้ง 2 ชนิด จะเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลของเหล็กเท่ากับ 55.847 ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าอะลูมิเนียม (Al) ซึ่งมีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 26.981 จากผลการทดลอง สำหรับทุกภาวะการทดลองการใช้ขั้วเหล็กจะเกิดการตกตะกอนได้เร็ว และตะกอนอัดแน่นกว่าการใช้ขั้วอะลูมิเนียม ส่วนการใช้ขั้วอะลูมิเนียมหลังการบำบัดการตกตะกอนจะใช้เวลานานกว่า และพบว่าหลังสิ้นสุดปฏิกิริยาของเสียจะลอยขึ้นด้านบนซึ่งสามารถทำการตักออกได้ การเลือกใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดใดนั้น ควรพิจารณาตามสมบัติของน้ำเข้า และลักษณะน้ำที่ต้องการให้ออกจากระบบ

2. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ พบว่าทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เวลาในการเกิดปฏิกิริยา และความเข้มข้นของสีย้อม ทั้ง 3 ปัจจัยนี้มีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี และการลดค่าซีโอดี โดยทั้ง 3 ปัจจัยนี้เป็นผลกระทบหลัก (main effect) ที่เกิดขึ้นกับการศึกษาค่าผลของตัวแปรตอบสนอง และจากกฎของฟาราเดย์ เป็นการยืนยันได้ว่า ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา มีความสำคัญต่อปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า จากสมการทั้ง 4 สมการ สามารถสรุปได้ว่า หากเพิ่ม

ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดีขึ้น เช่นเดียวกับการเพิ่มเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดีขึ้น แต่การเพิ่มความเข้มข้นสีย้อมทำให้การบำบัดมีประสิทธิภาพการบำบัดลดลง

3. พบว่าทั้ง 4 สมการที่เกิดขึ้นปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสี และการลดค่าซีโอดี คือ ความเข้มข้นของสีย้อม โดยเฉพาะในการใช้ขั้วอะลูมิเนียม เนื่องจากความเข้มข้นที่เลือกใช้ในช่วงดังกล่าว มีปริมาณความเข้มข้นมากกว่าการที่ขั้วอะลูมิเนียมจะทำการผลิตตัวตกตะกอนให้สามารถมาจับกับโมเลกุลของสีย้อมได้เพียงพอ ทำให้ความเข้มข้นในช่วงดังกล่าวเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการบำบัด ส่วนการใช้ขั้วเหล็กจะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า นั่นอาจเป็นเพราะว่า ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเดียวกัน การผลิตตัวตกตะกอนระหว่างเหล็ก และอะลูมิเนียมจะให้ผลผลิตออกมาแตกต่างกัน ตามสมการของฟาราเดย์ พบว่า เหล็กจะให้ปริมาณไอออนสำหรับนำมาผลิตเป็นตัวตกตะกอนได้มากกว่าอะลูมิเนียมที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเดียวกัน ส่งผลให้สำหรับการกำจัดสีโดยขั้วเหล็ก ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าจึงมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยอื่นๆ

4. ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของสีย้อม จากสมการจะถือว่าเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการบำบัด แต่ในความเป็นจริงน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมจะไม่สามารถทำการควบคุมความเข้มข้นของสีย้อมหลังจากผ่านการผลิตได้ ทำให้ในทางปฏิบัตินั้นต้องให้ความสำคัญกับปัจจัยอื่นที่มีความสำคัญรองลงมา สำหรับการทดลองนี้ปัจจัยที่น่าสนใจนอกจากความเข้มข้นสีย้อม นั่นคือ เวลาในการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากเวลาเป็นตัวกำหนดอัตราการสร้างไอออนจากขั้วไฟฟ้า

5. อันตรกิริยาระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A) กับเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (B) อันตรกิริยาระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A) กับความเข้มข้นของสีย้อมสังเคราะห์ (C) อันตรกิริยาระหว่างเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (B) กับความเข้มข้นของสีย้อมสังเคราะห์ (C) หรือทั้ง 3 ปัจจัย (ABC) เกิดขึ้นพร้อมกัน แต่อันตรกิริยาที่มีบทบาทมาก และพบในทุกสมการคือ อันตรกิริยาระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A) กับเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (B) ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการของฟาราเดย์เช่นกัน นั่นคือ กระแสไฟฟ้า และเวลาจากสมการนั้นแปรผันตรงกับจำนวนไอออนที่ถูกสร้างขึ้น เพื่อนำไปรวมตัวกันสร้างเป็นเมทัลไฮดรอกไซด์หรือตัวตกตะกอน เพื่อนำมาใช้จับกับโมเลกุลของสีย้อมในสารละลายนั่นเอง อันตรกิริยาระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A) กับความเข้มข้นสีย้อม (C) และอันตรกิริยาระหว่างเวลาในการเกิดปฏิกิริยา(B) กับความเข้มข้นสีย้อม (C) ที่ปรากฏในสมการของการกำจัดสีทั้งการใช้ขั้วอะลูมิเนียมกับขั้วเหล็กนั้น ในส่วนอันตรกิริยาระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า(A) กับความเข้มข้นสีย้อมสังเคราะห์ (C) อาจอธิบายได้ว่าไอออนที่ได้เกิดจากสมการข้างต้นที่มาจากความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ค่า

ต่างๆ จะให้ตัวตกตะกอนที่ปริมาณต่างๆกัน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการจับโมเลกุลของสีโดยตรง ส่วนอันตรกิริยาระหว่างเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (B) กับความเข้มข้นสีย้อม (C) อธิบายได้ว่า เมื่อเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้นในที่นี้ หมายถึงเวลาในการสร้างตัวตกตะกอนที่มากขึ้น และเวลาในการที่ตัวตกตะกอนจับกับโมเลกุลของสีย้อมมากขึ้น ทำให้โมเลกุลของสีสามารถถูกจับด้วยตัวตกตะกอนได้มาก จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีดีมากขึ้นตามไปด้วย สำหรับความสัมพันธ์ของ อันตรกิริยาที่พบ แล้วจะนำไปใช้งานจริงนั้น ควรพิจารณาจากลักษณะของความต้องการของงานนั้นๆ เช่น ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับเวลาในการกิดปฏิกิริยา หากต้องการความรวดเร็วในการบำบัดก็ควรเลือกที่ ระยะเวลาสั้นๆแล้วเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า แต่หากงานนั้นต้องการประหยัดควรเลือกความสัมพันธ์ที่ระยะเวลามาก แต่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำ

6. ภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสี นั้น สำหรับการใช้ขั้วอะลูมิเนียมในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ จากผลการทดลองจริงให้ค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากสมการ ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับการใช้ขั้วเหล็ก แสดงว่าสมการที่ได้นั้นมีความเหมาะสมกับช่วงที่ทำการเลือก แต่สำหรับการลดค่าซีโอดี ไม่ว่าจะเป็นการใช้ขั้วอะลูมิเนียม หรือขั้วเหล็ก พบว่าจากการทดลองจริงนั้นให้ค่าที่ต่างกับการคำนวณอย่างมาก ไม่เหมือนกับการกำจัดสี เนื่องจาก การกำจัดสีจะพิจารณาแค่สีที่หายไปเท่านั้น แต่การลดค่าซีโอดี นอกจากโมเลกุลของสีย้อมที่เหลือจากการบำบัดแล้วนั้น ยังมีสารเคมีที่ถูกเติมลงไปแล้วเกิดการรบกวนจากสารเคมีเหล่านั้น สำหรับการทดลองนี้สารเคมีที่ส่งผลรบกวนต่อการลดค่าซีโอดี คือ ซัลเฟต ($SO_4^{2-}$) ซึ่งในกรณีของอะลูมิเนียมอาจกล่าวได้เช่นนี้ แต่กรณีของขั้วเหล็กนอกจากซัลเฟตแล้ว เฟอรัส ($Fe^{2+}$) ที่เกิดจากการสร้างไอออนแล้วยังคงเหลือตกค้างในน้ำจะมีผลอย่างมากต่อการลดค่าซีโอดี ทำให้ค่าซีโอดีหลังการบำบัดมีค่าสูงกว่าความเป็นจริง ทำให้ผลที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่าผลที่ได้จากการคำนวณอยู่มาก นอกจากนี้ปัจจัยที่เลือกทำการทดลองอาจยังไม่ครอบคลุมถึงผลของการลดค่าซีโอดีอีกด้วย

7. ข้อดีของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีเคมีไฟฟ้า นอกจากจะให้ที่มีความเข้มสีอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้แล้วนั้น การบำบัดด้วยวิธีนี้หลังจากทำการบำบัดแล้ว ยังทำให้ค่าความเป็นกรด-เบส อยู่ช่วงที่เป็นกลาง เป็นผลมาจากการเกิดไฮดรอกไซด์ไอออน ซึ่งทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐาน ตามตารางที่ 5.1

**ตารางที่ 5.1** ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ก่อน และหลังการบำบัด

| ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ | น้ำก่อนการบำบัด | น้ำหลังการบำบัด |
|---|---|---|
| สี (Pt-Co unit) | 100-450 | 3-100 |
| ความเป็นกรด-เบส | 7-7.5 | 8.1-8.6 |
| ค่าซีโอดี (mg/L) | 80-288 | 32-272 |

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทดลองกับสีชนิดอื่นๆ แล้วทำการออกแบบการทดลองเช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ เพื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัด และจะได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนั้นเป็น เช่นเดียวกับสีชนิด UNISET RED 2B หรือไม่

2. อาจนำปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าเคมี มาทำการทดลองเพิ่มเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง, ค่าความนำไฟฟ้า, อุณหภูมิ และอัตราการกวนสารละลาย เป็นต้น

3. ควรเลือกใช้กับน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมจริง เพื่อจะได้ความสัมพันธ์ที่สามารถจะนำไปใช้งานจริงๆ ได้ หรือถ้าใช้น้ำเสียสังเคราะห์ก็ควรทำการเตรียมให้มีความใกล้เคียงกับน้ำเสียจริง

4. หลังการบำบัดควรทำการตรวจสอบไอออนที่เหลืออยู่ในน้ำหลังการบำบัด เพื่อจะได้ทราบว่าไอออนที่เหลืออยู่นั้นส่งผลต่อประสิทธิภาพในบำบัดมากน้อยเพียงใด