

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางในกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอทำหน้าที่เปลี่ยนวัตถุดิบสิ่งทอจำพวกเส้นด้ายดิบและผ้าดิบให้เป็นวัสดุสำเร็จสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมชั้นปลายเพื่อช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าผลิตภัณฑ์สิ่งทอและลดการนำเข้าวัตถุดิบในการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป อุตสาหกรรมฟอกย้อมจึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมสิ่งทอและการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ปัจจุบันโรงงานฟอกย้อมมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว การส่งออกสินค้าสิ่งทอ เสื้อผ้า และเครื่องนุ่งห่มสามารถทำรายได้เข้าประเทศถึง 7,677 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ต่อปี (กระทรวงพาณิชย์, 2553) ขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของโรงงานฟอกย้อมก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม เนื่องจากกระบวนการผลิตมีการใช้สารเคมีและสีย้อมที่อาศัยน้ำเป็นตัวกลาง โดยเฉพาะในกระบวนการชำระล้างทำความสะอาดของแต่ละขั้นตอนจะมีการใช้น้ำในอัตราที่สูงมาก ส่งผลให้โรงงานฟอกย้อมมีน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อมส่วนใหญ่จึงมีสีดกค้ำและสารเคมีปนเปื้อน ทั้งนี้เนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสีย้อมกับเส้นใยซึ่งไม่สามารถเกิดได้สมบูรณ์ทั้งหมด ส่งผลกระทบต่อปัญหามลพิษทางน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) นอกจากนั้น กลุ่มหัตถกรรมผ้าบาติกก็เป็นอีกกลุ่มที่มีการใช้สีย้อมในการย้อมผ้า การรวมกลุ่มผลิตสินค้า OTOP (One Tambol One Product) ทำให้สินค้าเป็นที่ยอมรับ มีการสั่งซื้อเพิ่มมากขึ้นและมียอดการผลิตสูง ส่งผลให้ปริมาณน้ำทิ้งสูงขึ้นเช่นกัน กลุ่มหัตถกรรมและโรงงานฟอกย้อมเหล่านี้ยังมีปัญหาในเรื่องขาดความรู้และเงินลงทุนในการบำบัดสีและสารเคมีที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากกระบวนการ ทำให้น้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะเกิดน้ำเน่าเสีย มีกลิ่นเหม็น และมีสีเป็นที่น่ารังเกียจ

สีย้อมผ้าที่ใช้กันโดยทั่วไปในโรงงานฟอกย้อมมักจะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสูตรโครงสร้างใหญ่ ซับซ้อน และอาจเป็นสารที่มีพิษ ซึ่งในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมได้จำแนกสีย้อมตามวิธีใช้ออกเป็น 11 ประเภท คือ สีเอซิด สีไคเร็กท์ สีเบสิก สีดิสเพอร์ส สีรีแอกทีฟ สีอะโซอิก สีแควด สีเมอร์แดนท์ และสีซัลเฟอร์ โดยที่ส่วนประกอบที่ทำให้เกิดสี คือ กลุ่มเคมีที่เรียกว่า โครโมฟอร์ (Chromophore) สีย้อมแต่ละประเภทจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมี สมบัติของสีย้อม ตลอดจนวิธีใช้ที่แตกต่างกันไป ดังนั้น การเลือกใช้สีย้อมจึงมีความสำคัญอย่างมาก ตัวอย่างสีย้อมในอุตสาหกรรม เช่น การฟอกย้อมกางเกงยีนส์ ใช้สีเบสิกชนิด Malachite green ส่วนสีรีแอกทีฟที่นิยมใช้ คือ สีแดง Reactive red และสีฟ้า Reactive blue ที่สำคัญสีรีแอกทีฟเป็นสีที่มีปริมาณการใช้งานสูงและน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนสีรีแอกทีฟจะกำจัดได้ยาก

ผลกระทบของสีย้อมผ้าต่อสิ่งแวดล้อม คือ ทำให้เกิดมลพิษทางสายตา โดยทั่วไปสามารถมองเห็นการปนเปื้อนของสีได้ด้วยตาเปล่าในแหล่งน้ำที่ปริมาณ 0.1-1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (วรรณวิภา ผลาหาญ, 2547) จากข้อมูลของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม พบว่า มีน้ำทิ้งจากการฟอกย้อมสีของกลุ่มอาชีพและวิสาหกิจชุมชน

ที่ผลิตผ้าทอเป็นจำนวนมากได้ถูกปล่อยทิ้งสู่ธรรมชาติโดยไม่มีการบำบัด ส่งผลกระทบต่อสภาพสิ่งแวดล้อม และระดับน้ำใต้ดินของชุมชน (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2555) เนื่องจากมาตรฐานการปล่อยน้ำเสีย อุตสาหกรรมของกรมควบคุมมลพิษกำหนดเพียงว่า สีของน้ำเสียก่อนปล่อยนั้นต้องเป็นสีที่ไม่พึงรังเกียจ ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมปล่อยน้ำเสียที่มีสีย้อมปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ นอกจากนี้ น้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมยังมีกลิ่นเหม็น ทำให้ชาวบ้านไม่สามารถใช้น้ำในการอุปโภคบริโภคได้ สีย้อมที่เป็นสารอินทรีย์ย่อยสลายได้ จะทำให้ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลง และความเข้มข้นของสียังขัดขวางการเดินทางของแสงที่จะลงสู่ผิวน้ำทำให้พืชไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ทำให้เกิดความผิดปกติต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำหรืออาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ที่ใช้แหล่งน้ำตามธรรมชาติในการอุปโภคบริโภค เช่น สีพวกโรดามีน บี (Rhodamine B) เอรามีน (Auramine) มาลาไคท์ กรีน (Malachite green) และไวโอเลท บี เอ็น พี (Violet BNP) อาจทำให้เกิดผื่นที่ผิวหนัง หน้าบวม อาเจียน ท้องเดิน อากาธา เพลีย และอ่อนแรง สีบางอย่างอาจทำให้เกิดมะเร็งที่ต่อมน้ำเหลือง และอวัยวะอื่นๆ นอกจากนี้สีย้อมบางชนิดมีการส่วนผสมโลหะหนักต่างๆ เช่น โครเมียม แคดเมียม โปรท ตะกั่ว และพลวง เป็นต้น เมื่อเกิดปฏิกิริยาในการย้อมไม่สมบูรณ์โลหะหนักเหล่านี้จะปนเปื้อนมาในน้ำเสียเป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์แม้ได้รับเพียงปริมาณเล็กน้อย อาการอาจเป็นทั้งอย่างฉับพลันหรือเรื้อรัง เป็นอันตรายแก่ชีวิตได้

โดยทั่วไปการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงฟอกย้อมมีหลายวิธี ได้แก่ การย่อยสลายโดยกระบวนการทางชีววิทยา (Biodegradation) การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical coagulation) การใช้โอโซน (Ozonation) และการดูดซับ (Adsorption) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542) ซึ่งค่อนข้างยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูง การใช้ปฏิกิริยาเฟนตัน (Fenton reaction) เป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพสูงโดยใช้สารไอรอน (Iron) ในรูป Fe^{2+} หรือ Fe^{3+} จากเฟอร์รัสซัลเฟต (Fe_2SO_4) เฟอร์ริกไนเตรท ($Fe(NO_3)_3$) หรือเฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) แต่วิธีการนี้มีค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้องมีการปรับ pH น้ำเสียก่อนการบำบัด ให้มีสภาพเป็นกรด และสารเคมีที่ป้อนจะถูกกำจัดไปพร้อมตะกอน การพัฒนาสารไอรอนสำหรับการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคลือบผิวตัวกลางด้วยวิธีการต่างๆ เช่น วิธีโซลเจล (Sol gel) วิธีสารละลาย (Solution) ที่ทำให้ได้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคลือบเป็นฟิล์มบาง (Thin film) บนตัวกลางเซรามิก โดยเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาบนเซรามิกที่มีความพรุนและพื้นที่ผิวสัมผัสสูง ที่สามารถเผาที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้เกิดความเสถียรของตัวเร่งปฏิกิริยา และนำมาใช้งานในรูปแบบ Heterogeneous Catalyst และฟื้นฟูสภาพได้ (Regeneration) โดยใช้ออกซิเจน ประกอบกับการออกแบบระบบกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมแบบต่อเนื่องด้วยระบบ Packed column โดยสามารถป้อนน้ำเสีย เป็นแบบการบังคับผ่านให้น้ำไหลสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดไอรอนที่บรรจุอยู่ภายในคอลัมน์ ทำให้โครงสร้างของสีย้อมในน้ำเสียถูกทำลายและได้น้ำที่ผ่านการบำบัดจะไหลออกคอลัมน์

การออกแบบการทดลองด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodologies, RSM) เป็นการออกแบบด้วยเทคนิค Central Composite Design (CCD) ที่มีการออกแบบทุกระดับของแต่ละปัจจัย โดยห่างจาก Center ของการออกแบบเท่ากัน และทำซ้ำที่จุดกึ่งกลางของแต่ละปัจจัย โดยมีระดับการทดลอง 5 ระดับ $(-\alpha, -1, 0, 1, \alpha)$ วิธีนี้เป็นวิธีการประเมินผลลัพธ์ที่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆ ของกระบวนการการ

ทดลองตามการออกแบบอย่างเป็นระบบจะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบโดยรวมของพารามิเตอร์ในกระบวนการ การใช้โปรแกรม Design Expert RSM สำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical modeling) ของกระบวนการ ทำให้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรดำเนินการและทำนายภาวะที่เหมาะสม (Optimum condition) ของการทดลอง เพื่อให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดในการทดลอง ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อประเมินแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ (Shahsavani *et al.*, 2009)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียของโรงงานหรือชุมชนที่มีกระบวนการฟอกย้อมด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดไอออน ที่ทำการสังเคราะห์จากเฟอร์ริกคลอไรด์ด้วยวิธีการโซลเจลและทำการเคลือบบนตัวกลางเซรามิกชนิดโพรเซสซีฟและเซรามิกชนิดวงแหวน ทำการวิเคราะห์พื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) และ Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) ทดลองกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อมชนิด Reactive red, Reactive blue และ Malachite green ในชุดการทดลองแบบแบทช์ (Batch) และชุดการทดลองแบบต่อเนื่อง (Continuous) ชนิด Packed column ด้วยการบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาในคอลัมน์และทำการศึกษาการฟื้นฟูสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา ออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Design Expert RSM โดยพารามิเตอร์ที่ศึกษา ประกอบด้วย พีเอช ความเข้มข้นของน้ำสี อัตราการไหลของน้ำสี และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา วัดค่า COD วัดค่าความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำเสียด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer และแสดงผลของโครงสร้างของสารที่อยู่ในตัวอย่างด้วยเทคนิค LC-MS เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ ทำการทดสอบการบำบัดเสียจริงจากกลุ่มผลิตภัณฑ์ผ้าติดกับระบบ Packed column เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานจริงในชุมชนและพัฒนาสู่การใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดไอออนสำหรับการศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากการฟอกย้อมด้วยระบบแบบแบทช์
2. เพื่อออกแบบและสร้างระบบชุดทดลองแบบต่อเนื่องสำหรับการศึกษาทดลองการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากการฟอกย้อม การหาสมการทางคณิตศาสตร์ และหาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดไอออน
3. เพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียจริงจากการฟอกย้อมของชุมชนสำหรับหาแนวทางในการออกแบบระบบกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของการฟอกย้อมในระดับชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดไอออนเคลือบบนตัวกลางเซรามิกโดยวิธีโซลเจลสำหรับการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม
2. ทำการทดลองด้วยน้ำสีสังเคราะห์จากสีย้อมชนิด Reactive red, Reactive blue และ Malachite green ที่ความเข้มข้น 0.01-0.20 กรัมต่อลิตร
3. สร้างชุดทดลองแบบเบตซ์และแบบต่อเนื่องชนิด Packed column ที่ใช้ในการศึกษาการกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม
4. ออกแบบการทดลองและหาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมในน้ำสีสังเคราะห์และน้ำเสียจริงจากการผลิตผ้าบาติกของชุมชนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดไอออนด้วยระบบแบบต่อเนื่องใน Packed column

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดไอออนโดยวิธีโซลเจล สำหรับกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมได้
2. ได้ระบบที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมด้วยระบบ Packed Column สำหรับใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมและอื่นๆ ที่มีน้ำเสียปนเปื้อนสีย้อม
3. สามารถลดต้นทุนในการกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของโรงงานและชุมชนที่ผลิตผลิตภัณฑ์ฟอกย้อมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดฟื้นฟูสภาพได้ด้วยระบบ Packed column