

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการฟอกย้อม

อุตสาหกรรมประเภทสิ่งทออาจจะแบ่งอย่างกว้าง ๆ ได้เป็น 2 ประเภท คือ โรงทอ หรือโรงงาน และโรงย้อม โรงทอหรือโรงงานจะทำการผลิตเส้นด้าย และผืนผ้าตามกรรมวิธีต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใย และความต้องการของท้องตลาด ด้ายหรือผ้าที่ผ่านการปั่นหรือการทอเสร็จแล้วจะถูกนำเข้าสู่โรงย้อมเพื่อจัดเตรียมทำการย้อมและตกแต่งต่อไป

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อมส่วนใหญ่เป็นกระบวนการทางเคมี ที่อาศัยการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของเส้นใย โดยการใช้สารเคมี สีย้อมที่เหมาะสม และโดยอาศัยน้ำเป็นตัวกลางอุตสาหกรรมฟอกย้อมจึงเป็นอุตสาหกรรมที่มีความต้องการใช้น้ำมาก ขั้นตอนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ประกอบด้วยกระบวนการหลักที่สำคัญ 3 กระบวนการคือ

##### 1. การเตรียม กระบวนการที่สำคัญในการเตรียม ได้แก่

1.1 การเผาขน เป็นการทำให้ผ้ามีผิวเรียบ

1.2 การลอกแป้ง แป้งที่ติดอยู่บนเนื้อผ้ามาจากการลงแป้งบนด้ายในกระบวนการทอผ้าทำให้เส้นด้ายแข็งตัวพอที่จะทนทานต่อการเสียดสีของเครื่องทอ เมื่อทอเป็นผ้าแล้วก่อนนำไปย้อมต้องนำไปลอกแป้งออกให้หมดเสียก่อน เพื่อให้ผ้าสามารถมีการย้อมติดสีดี

1.3 การขจัดสิ่งสกปรก ได้แก่การขจัดคราบน้ำมัน ขี้ดิน ขี้ผึ้ง กาว ฯลฯ

ให้หมดไปจากเส้นใย

1.4 การฟอกขาว เป็นการกำจัดสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติ

1.5 การชุบมัน เพื่อเพิ่มความมันของวัสดุสิ่งทอ และทำให้วัสดุสิ่งทอ ดูดซึ่มสีย้อมได้มากขึ้น

##### 2. การให้สี กรรมวิธีการให้สีที่สำคัญมีอยู่ 2 วิธีคือ

2.1 วิธีย้อม

2.2 วิธีการพิมพ์

3. การตกแต่งสำเร็จ เป็นขั้นตอนการปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนคุณสมบัติสิ่งทอให้มีความเหมาะสมในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

## 2.2 สีย้อมและการจำแนกสีย้อม

### 2.2.1 การผลิตสีย้อม

ที่มาของสีย้อมเริ่มแรกมาจากน้ำมันปิโตรเลียมหรือถ่านหิน ซึ่งเมื่อผ่านการสกัดแล้วจะได้สารไฮโดรคาร์บอนออกมา ที่สำคัญได้แก่ เบนซีน ไชลีน แอนทราซีน โทลูอีน แนพทาลิน และพาราฟิน ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว สารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้จะถูกนำไปทำปฏิกิริยาด้วยขบวนการไนเตรชัน แอมมิเนชัน เป็นต้น เพื่อที่จะเปลี่ยนสภาพจากสารไฮโดรคาร์บอนไปเป็นสารตัวกลาง และจากสารตัวกลางที่เตรียมได้นี้จะถูกนำไปเปลี่ยนเป็นตัวสีย้อมด้วยเทคนิคต่าง ๆ

### 2.2.2 การจำแนกสีย้อม

อัจฉราพร ไสละสูตร (2527) จำแนกสีย้อมออกเป็นประเภทต่าง ๆ หลายวิธีดังต่อไปนี้

1. จำแนกตามแหล่งที่มาของสี เช่น สีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และสีที่ได้จากการสังเคราะห์

2. จำแนกตามองค์ประกอบทางเคมี เช่น สีซัลเฟอร์

3. จำแนกตามกรรมวิธีในการย้อม เช่น สีมอร์แดนต์

4. จำแนกตามชนิดของเส้นใยที่นำไปย้อม เช่น สีย้อมผ้าฝ้าย, สีย้อม

ขนสัตว์

ในที่นี้จะกล่าวถึงสีย้อมจำแนกตามกรรมวิธีในการย้อม ดังนี้

1. สีดีสเพิร์ส (disperse dyes)

สีชนิดนี้ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส, โพลีเอสเตอร์ หรือเส้นใยสังเคราะห์บางชนิดที่ดูดซึมน้ำได้น้อย สีย้อมนี้ไม่ละลายน้ำแต่เป็นละอองละเอียดลอยตัวอยู่ในน้ำ เมื่อมีสารช่วยกระจาย (dispersing agent) ที่เหมาะสมจะสามารถใช้ย้อมในน้ำธรรมดาได้โดยไม่ต้องใช้สารเคมีอย่างอื่นช่วย

2. สีเอซิด (acid dyes)

สีชนิดน้ำเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุลบ บางทีเรียกสีประเภทนี้ว่าสีแอนไอออนิก (anionic dyes) ส่วนใหญ่เป็นเกลือโซเดียมของกรดซัลโฟนิก สีพวกนี้ส่วนใหญ่จะไม่เกาะติดเส้นใยเซลลูโลส หรือเกาะติดได้น้อย แต่สามารถเกาะติดเส้นใยในล่อนได้ดี

### 3. สีเบสิก (basic dyes)

สีชนิดนี้ละลายน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนบวก บางทีจึงเรียกสีชนิดนี้ว่าสีแคทไอออนิก (cationic dyes) นิยมใช้ย้อมขนสัตว์ และเส้นใยสังเคราะห์ แต่ไม่เกาะติดเส้นใยเซลลูโลส มีสมบัติเด่นพิเศษคือ มีความสดใส และความเข้มของสีดีมาก

### 4. สีไดเรกต์ (direct dyes)

เป็นสีที่มีการดูดซึม และย้อมติดเส้นใยฝ้ายหรือใยเซลลูโลสโดยตรง ละลายน้ำง่าย โมเลกุลของสีจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุลบ การย้อมติดสีจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีสารอิเล็กโตรไลต์ เช่น เกลือต่าง ๆ อยู่ด้วย สีชนิดนี้ย้อมง่าย ไม่คงทนต่อการซักน้ำ

### 5. สีแวต (Vat dyes)

เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถเปลี่ยนเป็นสีที่ละลายน้ำได้เมื่อทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไดไธโอนต์ สารประกอบที่เกิดขึ้นสามารถเกาะติดเส้นใยเซลลูโลสได้ดี และเมื่อถูกดูดซึมเข้าไปในเส้นใยแล้วสามารถทำให้กลับคืนเป็นสีที่ไม่ละลายน้ำเช่นเดิมได้ โดยการออกซิไดซ์ ด้วยออกซิเจนในอากาศ หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือใช้โปตัสเซียมไดโครเมต สีชนิดนี้มีความคงทนต่อการซักดีมาก และมีความคงทนต่อแสงดี

### 6. สีรีแอกทีฟ (reactive dyes)

สีชนิดนี้ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสดีที่สุด ละลายได้ในน้ำมีคุณสมบัติเป็นแอนไอออน เมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่างโมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใย และเชื่อมโยงติดกันโดยโควาเลนต์บอนด์ กลายเป็นสารเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สมบัติการละลาย และการดูดติดเส้นใยของตัวสีจะทำให้สีเข้าไปอยู่ในเส้นใยได้ และเมื่อเกิดปฏิกิริยาตัวสีก็จะติดกับเส้นใย ทำให้สีมีความคงทนต่อการซักล้าง

## 2.3 น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ

### 2.3.1 แหล่งที่มาของน้ำทิ้ง

น้ำทิ้งในอุตสาหกรรมฟอกย้อม มีที่มาจากแหล่งต่าง ๆ 4 แหล่งคือ

### 1. น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการพอกย้อมโดยตรง น้ำในส่วนนี้จะมีปริมาณไม่มากนัก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนค่อนข้างสูง

- น้ำที่ใช้ในการซักล้าง ภายหลัง จากการพอกย้อม น้ำในส่วนนี้จะมีปริมาณมาก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนโดยส่วนรวมแล้วจะต่ำกว่าในน้ำทิ้งประเภทแรก

### 2. น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ

ในกระบวนการพอกย้อม มักจะมีการอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกส่งไปให้ความร้อนแก่น้ำย้อมโดยตรง ก็จะไปเพิ่มปริมาณของน้ำย้อม และจะถูกรวมเป็นน้ำทิ้งที่สกปรกในที่สุด

### 3. น้ำหล่อเย็น

ในกระบวนการพอกย้อม บางครั้งที่โรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของน้ำย้อมลงในเวลาอันสั้น ซึ่งทำได้โดยอาศัยน้ำหล่อเย็น

### 4. น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่อง และทำความสะอาดโรงงาน

ในบางกรณีน้ำชนิดนี้ก็เป็นน้ำทิ้งที่มีความสกปรกสูงมากด้วย เช่น น้ำล้างถังเตรียมสี

น้ำทิ้งที่มีปริมาณและความสกปรกมากที่สุดคือ น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตโดยตรง

## 2.3.2 ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำทิ้ง

จำแนกเป็นประเภทที่สำคัญ ๆ ได้ดังนี้

### 1. สีย้อม

ในการย้อมเส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมบางส่วนเท่านั้น ที่เหลือจะคงอยู่ในน้ำย้อม และจะถูกปล่อยออกมากับน้ำทิ้งในที่สุด

### 2. สารเคมีที่ใช้ช่วยในการพอกย้อม

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการพอกย้อม มีอยู่มากมายหลายชนิด สารเคมีเหล่านี้ส่วนใหญ่ จะยังคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมหรือน้ำซักล้าง และจะถูกปล่อยปนมากับน้ำทิ้ง

### 3. สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย

สิ่งสกปรกเหล่านี้มีทั้งที่เป็นสารซีเมนต์ ไขมัน โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่าง ๆ นอกจากนี้ในขั้นตอนการผลิตก็ยังมีสารเติมแต่งต่าง ๆ ลงไปในเส้นใยด้วย เช่นพวกสารหล่อลื่น และแป้ง เป็นต้น

### 4. เศษเส้นใย

### 5. สิ่งสกปรกเจือปนอื่น ๆ เช่น น้ำยาที่ใช้ล้างเครื่อง

## 2.4 ปัญหาเนื่องจากมีสิ่งข่มในน้ำทิ้ง

น้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมจะมีสิ่งข่มเจือปนอยู่เมื่อปล่อยน้ำทิ้งนี้ลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่มีการลดความเข้มข้นของสีก่อนก็จะทำให้เกิดปัญหาต่อแหล่งน้ำ ดังนี้

1. ทำให้สภาวะทางกายภาพของแหล่งน้ำเสื่อมลง น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ จะก่อให้เกิดความรู้สึกพึงรังเกียจต่อผู้พบเห็น ทำให้สภาพลำน้ำไม่น่าดู
2. ขัดขวางการส่องผ่านของแสงลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้สมดุลทางระบบนิเวศน์วิทยาเปลี่ยนแปลงได้ เกิดเป็นผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ ทั้งทางตรง และทางอ้อม
3. สิ่งข่มที่เป็นสารอินทรีย์ย่อยสลายได้ ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำลดลง
4. ความเป็นพิษของตัวสิ่งข่ม

## 2.5 การกำจัดสิ่งข่มในน้ำทิ้ง

วิธีที่ใช้ในการบำบัดสีในน้ำทิ้งมีหลายวิธี ได้แก่

- โคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี (chemical coagulation)
- โคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้าเคมี (electrocoagulation)
- ระบบบำบัดทางชีวภาพ (biological treatment)
- การดูดติดผิว (adsorption)
- เติมคลอรีน (chlorination)
- การเติมโอโซน (ozonation)
- รีเวอร์สออสโมซิส (reverse osmosis)
- อุลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration)
- การแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange)

- การฉายรังสี (radiation)
- โฟโตเคมีคอล ดีเกรดเดชัน (photochemical degradation)

วิธีการบำบัดสีในน้ำทิ้ง อาจใช้วิธีเดียว หรือใช้ร่วมกันหลายวิธีก็ได้ บางครั้งพบว่าวิธีการเดียวไม่สามารถกำจัดสีได้อย่างน่าพอใจ จำต้องมีวิธีอื่นร่วมด้วย

## 2.6 กระบวนการตกตะกอน (coagulation)

กระบวนการตกตะกอนที่เรียกว่าโคแอกกูเลชันเป็นกระบวนการที่มีการเติมสารบางชนิดลงไปเพื่อทำให้อนุภาคขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (Sundstrom และ Klei , 1979)

อนุภาคคอลลอยด์ มีขนาด  $10^{-6}$ - $10^{-3}$  มิลลิเมตร อนุภาคคอลลอยด์สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ พวกที่ชอบน้ำ (hydrophilic) จะมีแรงยึดเหนี่ยวกับสารตัวกลางในที่นั้นคือน้ำที่มีกำลังแรง ดังนั้น จึงแยกออกจากน้ำได้ยาก ต้องใช้แรงมากในการทำให้อนุภาคต่าง ๆ นั้นมาจับกันเป็นกลุ่มเป็นก้อน เพราะมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ ส่วนอีกชนิดหนึ่งคือ พวกที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) พวกนี้จะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำที่มีกำลังอ่อน เป็นอนุภาคที่สามารถแยกออกจากน้ำได้ง่าย เพราะไม่มีโมเลกุลของน้ำเป็นสิ่งกีดขวาง (Eckenfelder , 1989)

มันสิน ตันทูลเวศม์ (2526) ได้กล่าวถึงเสถียรภาพของคอลลอยด์ และการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ไว้ว่า การที่อนุภาคคอลลอยด์ สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอนเนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้า ซึ่งอาจมีประจุบวกหรือลบก็ได้ ทำให้มีแรงผลักระหว่างอนุภาคจึงเป็นสาเหตุให้อนุภาคต่าง ๆ กระจายอยู่ในน้ำโดยไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งเรียกว่าฟล็อก ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าประจุไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ ในน้ำอนุภาคคอลลอยด์จะมีแรงกระทำซึ่งกันและกันอยู่ 2 ชนิด คือ แรงดึงดูดระหว่างอนุภาค (van der waals force) เป็นแรงอ่อนที่มีอำนาจเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กัน ส่วนอีกแรงคือแรงผลัทางไฟฟ้า (electrical repulsive force) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ผิวของอนุภาคมีประจุชนิดเดียวกัน จึงเกิดการผลักัน บทบาทของแรงทั้งสองมีผลต่อเสถียรภาพของคอลลอยด์ แรงผลัจะต้องสูงกว่าแรงดึงดูด จึงจะทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ ถ้าแรงดูดมากกว่าแรงผลั อนุภาคคอลลอยด์ต่าง ๆ สามารถจับกันเป็นกลุ่มก้อน หรือที่เรียกว่าฟล็อกได้ ทำให้อนุภาคไม่มีเสถียรภาพ ผลลัพธ์ของแรงระหว่างอนุภาคทั้ง 2 ชนิดขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาค แรงดึงดูดมีอำนาจเหนือกว่าแรงผลัก็ต่อเมื่ออนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมาก ๆ แต่ถ้าหาก

อนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้าสูง หรือมีชั้นกระจาย (diffuse layer) หนาจะทำให้เกิดแรงผลักสูงกว่าแรงดูด

การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ รวมตัวกันและจับกับเป็นฟล็อก ควรมี 2 ขั้นตอน คือ ต้องทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ และต้องทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เคลื่อนที่มากระทบกันหรือสัมผัสกันให้มากที่สุด

การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์สามารถกระทำได้โดยอาศัยกลไก 4 แบบคือ

1. การลดความหนาของชั้นกระจาย โดยการเพิ่มจำนวนอิออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาค ผลที่เกิดขึ้นคือ ชั้นกระจายมีความหนาลดลง อนุภาคจะสามารถเข้าใกล้กันได้มากขึ้นจนแรงดึงดูดสามารถทำให้อนุภาคเกาะกันได้
2. การดูดติดและทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption and charge neutralization) สารเคมีบางหมู่สามารถดูดติดบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ ถ้าสารเหล่านั้นมีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับของอนุภาค การดูดติดผิวจะมีผลในทางลดอำนาจศักย์ไฟฟ้าและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์
3. การห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้นมา (sweep coagulation) ถ้าเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปลงในน้ำในปริมาณมากพอจะมีการตกผลึกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกดังกล่าว เพื่อให้ผลึกมีขนาดใหญ่หรืออาจจับตัวรวมกับผลึก ลักษณะที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้ ถือว่าเป็นการเพิ่มขนาดหรือน้ำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์เป็นผลให้คอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพ และสามารถตกตะกอนได้ พีเอช มีบทบาทสำคัญมากต่อกลไกแบบนี้ เนื่องจากมีความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความสามารถในการตกผลึกสารต่างๆ สารตกตะกอนแต่ละตัวจะมีระดับพีเอชที่เหมาะสมแตกต่างกัน
4. ใช้โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (polymer bridging) โดยใช้โพลีเมอร์ที่ประจุไฟฟ้าประจำตัวอาจเป็นบวก , ลบ หรือไม่มีประจุเลยก็ได้ โมเลกุลของสารโพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคได้หลายตำแหน่ง การเกาะติดอาจเป็นผลมาจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และอนุภาคหรือเป็นแรงของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างประจุที่เหมือนกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ อนุภาคที่มีโพลีเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว (destabilized particle) อนุภาคดังกล่าวนี้สามารถจับตัวกับอนุภาคอื่นๆ โดยมีโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม การต่อเชื่อม

ด้วยโพลีเมอร์จะเกิดขึ้นได้ทราบเท่าที่มีโพลีเมอร์และตำแหน่งว่างบนผิวอนุภาค ถ้าปลายอิสระของโพลีเมอร์ไม่มีที่เกาะจับบนอนุภาคอื่น ปลายอิสระก็จะเกาะจับบนอนุภาคเดิม ทำให้เสียประโยชน์ 2 ทางคือ ทำให้ไม่มีปลายอิสระไว้จับอนุภาคอื่นและทำให้มีตำแหน่งว่างบนอนุภาคสำหรับยึดเกาะน้อยลง อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสารโพลีเมอร์ยึดเกาะหลายตำแหน่งจนไม่มีปลายอิสระและที่ว่าง เรียกว่าอนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ (Restabilized particle) การใช้โพลีเมอร์มากเกินไปอาจก่อให้เกิดผลเสียได้ เพราะโพลีเมอร์หลายโมเลกุลจะไปเกาะอยู่บนอนุภาค จนไม่มีที่ว่างบนอนุภาคสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของโพลีเมอร์ที่อยู่บนอนุภาคอื่น ๆ อนุภาคที่เกิดขึ้นจึงเป็นแบบที่มีเสถียรภาพ การทวนน้ำแรงเกินไปหรือนานเกินไป ก่อผลเสียได้ เนื่องจากฟลอคที่ที่เกิดขึ้นแล้วแตกเป็นส่วนๆ และอาจทำให้ปลายอิสระของโพลีเมอร์เกาะจับบนอนุภาคอันเดิม เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงกลับคืนมาใหม่อีก

สารเคมีหลักที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน เรียกว่าโคแอกกูแลนต์ ได้แก่ โพลีเมอร์, สารประกอบเกลือของโลหะบางชนิด ตัวที่นิยมใช้กันมากได้แก่ สารส้มและสารประกอบเหล็กบางตัว (Kammer, 1988) โพลีเมอร์แบ่งได้เป็น 3 ชนิด เมื่อพิจารณาถึงประจุที่อยู่บนสายโพลีเมอร์ คือ แคทไอออนิกโพลีเมอร์ เป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุบวก, แอนไอออนิกโพลีเมอร์ เป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุลบ และนอนไอออนิกโพลีเมอร์ เป็นโพลีเมอร์ที่ไม่มีประจุ

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Beszedits, Lugowski และ Miyamoto (1980) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของแอกติเวตเตดคาร์บอนในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียย้อมผ้า โดยศึกษาเปรียบเทียบกับสีย้อมชนิดต่าง ๆ คือ สีย้อมดิสเพิร์ส สีย้อมไดเรกต์ สีย้อมรีแอกทีฟ สีย้อมแวนด์ พบว่าแอกติเวตเตดคาร์บอนเหมาะสมกับสีย้อมที่อยู่ในรูปสารละลาย แต่ไม่เหมาะที่จะใช้กับสีย้อมที่ไม่ละลายหรือละลายได้น้อย เช่นสีย้อมแวนด์ สีย้อมดิสเพิร์ส เพราะหลังจากใช้ไปประมาณ 20 - 50 ชั่วโมง จะเกิดการอิ่มตัวเสียพื้นที่ผิวใช้งานไป ซึ่งจำเป็นต้องเปลี่ยนหรือรีเจนเนอเรต เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

McKay, Ramprasad และ Mowli (1987) ศึกษาการใช้สารดูดติดผิวที่มีราคาถูก ได้แก่ เปลือกไม้สัก, แกลบข้าว, เศษฝ้าย, ถ่านหิน, เส้นผม และดินเบนโทไนท์ ในการกำจัดสีย้อมผ้าในน้ำเสีย 4 ชนิดได้แก่ สีเบสิก, สีเอซิด, สีไดเรกต์ และสีดิสเพิร์ส ชนิดละ 2 โทนสี คือ สีแดงและสีน้ำเงิน จากการศึกษาพบว่า ดินเบนโทไนท์สามารถดูดติดสีย้อมได้ดี



เกือบทุกสี ยกเว้นสีเอซิดโทนสีแดง แต่การรีเจนเนอเรตเป็นไปได้อย่างยากเนื่องจากเกิดพันธะเคมีที่แข็งแรงในการดูดติดสีย้อม ส่วนแถบขาว เปลือกไม้สัก เศษฝ้าย และเส้นผม สามารถดูดติดผิวกับสีย้อมเบสิกเท่านั้น ส่วนสีชนิดอื่นดูดติดผิวได้น้อย

Grau (1991) กล่าวว่าสามารถใช้แอกติเวทเต็ดสลัดจ์เป็นสารดูดติดผิวสำหรับกำจัดสีย้อมในน้ำเสียได้

Sun และ Xu (1997) ศึกษาการใช้ก้านดอกทานตะวันกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียสิ่งทอ 2 ชนิด คือสีเบสิกและสีไดเร็กต์ พบว่า ก้านดอกทานตะวันสามารถกำจัดสีเบสิกได้ดีกว่าสีไดเร็กต์ และส่วนต่าง ๆ ของก้านดอกก็มีผลต่อการดูดติดสี โดยส่วน pith ซึ่งอ่อนนุ่มและเป็นรูพรุน จะดูดติดสีได้ดีกว่าส่วนผิวถึง 2 เท่า นอกจากนี้ ขนาดของอนุภาคก็มีผลต่อการดูดติดสี โดยที่อนุภาคขนาดเล็กสามารถดูดติดสีได้ดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่เนื่องจากพื้นที่ผิวมีมากกว่า

Kanekar และ Samaik (1991) ได้ทดลองใช้ระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์บำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม ซึ่งประกอบไปด้วย อะนิลีน, ฟีนอล, สีย้อมเมทิลไวโอเล็ต, สีย้อมโรดามีน บี เป็นต้น ขั้นตอนการเลี้ยงตะกอนจะใช้มูลสัตว์และเมื่อเลี้ยงไประยะต่าง ๆ ได้แยกสายพันธุ์ที่ตอบสนองกับน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมเป็นอย่างดีเป็นหัวเชื้อต่อ ๆ ไป จากการทดลองพบว่า สามารถลด COD ได้ 60% และพบว่า สายพันธุ์ ซูโดโมแนสนั้นสามารถใช้เลี้ยงในระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์ได้เป็นที่น่าพอใจ

Koottatep (1993) ได้ทดลองใช้วิธีไฟฟ้าเคมีในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียโรงฟอกย้อมโดยสร้างแบบจำลองของถังปฏิกริยาโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นอิเล็กโตรดอยู่ในถังพลาสติกใส อิเล็กโตรดนี้ทำด้วยแผ่นเหล็ก สีย้อมจะถูกฟล็อกที่เกิดจากเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์จับให้ตกตะกอน ในขณะที่ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีมาทำหน้าที่เป็นตัวตกตะกอน และตัวช่วยตกตะกอน ตะกอนที่ได้จับตัวดีมากเนื่องจากเป็นตะกอนที่มีประจุ แต่มีข้อเสียคือ ก๊าซไฮโดรเจนที่ลอยตัว ทำให้สีบางส่วนลอยขึ้นมา พบว่าที่แผ่นอะโนดจะผูกมัดเนื่องจากการปล่อยไฮดรอกไซด์เฟอร์รัส และได้ต่างคือ ไฮดรอกไซด์จากน้ำเสีย ด้วยวิธีนี้สามารถกำจัดสีย้อมได้ประมาณ 60 % มากกว่าการใช้โอโซนในสภาวะของน้ำเสียเริ่มต้นเดียวกัน

Naumczyk, Szpyrkowicz และ Zilio – Grandi (1996) ศึกษาการกำจัดสีน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้าโดยใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมี โดยใช้แผ่นอิเล็กโตรดชนิดต่าง ๆ 3 ชนิด พบว่ากระบวนการนี้สามารถกำจัดสีได้สูง 94 – 97 % กำจัด COD 10 – 20 % โดยที่แผ่นอิเล็กโตรดต่างกันจะกำจัดสีได้ต่างกันเล็กน้อย และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดสี และ COD

จะเพิ่มขึ้น คือหลังจาก 1 ชั่วโมงจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี 99 % และกำจัด COD 85 – 92% แต่วิธีนี้พบว่า จะมีสารประกอบอื่น ๆ เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก

Kuo (1992) ศึกษาการกำจัดสีย้อม โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับเพอร์รัสซัลเฟต ซึ่งเรียกว่า เฟนตอน รีเอเจนท์ ( Fenton's reagent ) โดยทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อม 5 ประเภทคือ สีย้อมดิสเพิร์ส, สีย้อมรีแอคทีฟ, สีย้อมไดเร็กต์, สีย้อมเอซิด และสีย้อมเบสิก ซึ่งใช้กันมากในอุตสาหกรรม ในการศึกษาดังกล่าวพบว่า พีเอชมีผลต่อการกำจัดสี โดยพีเอชที่เหมาะสมคือ พีเอช ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 3.5 ส่วนปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเพอร์รัสซัลเฟต ขึ้นกับประเภทของสีย้อม คือ 584 และ 250 มก./ล. ตามลำดับสำหรับสีย้อมรีแอคทีฟ, 292 และ 83 มก./ล. ตามลำดับสำหรับสีย้อมไดเร็กต์, 875 และ 500 มก./ล. ตามลำดับสำหรับสีย้อมเอซิด, 292 และ 500 มก./ล. ตามลำดับสำหรับสีย้อมเบสิก , 292 และ 333 มก./ล. ตามลำดับสำหรับสีย้อมดิสเพิร์ส นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เร็วขึ้นและควรอยู่ประมาณ 50 องศาเซลเซียส วิธีนี้สามารถกำจัดสีได้ประมาณ 97 % และกำจัด COD ได้ประมาณ 88 %

Lin และ Lo (1997) ศึกษาการใช้กระบวนการเฟนตอนร่วมกับกระบวนการตกตะกอนทางเคมีในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ 2 ชนิด คือ สีย้อมไดเร็กต์ สีน้ำเงิน และสีรีแอคทีฟ สีดำ ซึ่งมีโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นองค์ประกอบรวมอยู่ด้วยในปริมาณน้อยกว่า 2 % สำหรับกระบวนการตกตะกอนทางเคมีจะใช้ โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 100 มก./ล. ร่วมกับ โพลีเมอร์ 1 มก./ล. จากการศึกษาพบว่า พีเอช ที่เหมาะสมคือพีเอช 3.0 และอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30 องศาเซลเซียส สำหรับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และเพอร์รัสซัลเฟตคือ 1,000 มก./ล. และ 200 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งสามารถกำจัดสีไดเร็กต์ได้ 60 % และกำจัดสีรีแอคทีฟได้มากกว่า 90 % กำจัด COD ได้ประมาณ 60 % สำหรับสีทั้ง 2 ชนิด และเมื่อใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมี พบว่าช่วยลดเวลาในการตกตะกอนให้เร็วขึ้น และสามารถเพิ่มการกำจัดสีไดเร็กต์จาก 60% เป็น 90% ส่วนสีรีแอคทีฟจะมีผลเล็กน้อย เนื่องจากสามารถกำจัดสีได้ดีอยู่แล้ว

Koottatep (1993) ได้ทดลองใช้โอโซน กำจัดสีย้อมในระดับห้องปฏิบัติการ กับน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม พบว่าสามารถกำจัดสีได้มีประสิทธิภาพ 50 % โดยการใช้ออกซิโดซิงสีย้อมด้วยโอโซน การกำจัดสีด้วยโอโซนดังกล่าว เหมาะกับการบำบัดน้ำเสียขั้นปฐมภูมิก่อนเข้าระบบบำบัดทางชีวภาพ เพราะโอโซนช่วยให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้นเป็นประโยชน์ต่อการ

ย่อยสลายสารอินทรีย์ในถังเติมอากาศ และไม่ต้องการถังตกตะกอนชั้นปฐมภูมิ เพราะการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียด้วยไอโซนไม่ก่อให้เกิดสลัดจ์

Judkin และ Hornsby (1978) ได้ทดลองการกำจัดสีจากน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีโดยการใช้ปูนขาว มักเนซีมคาร์บอเนต และมักเนซีมาร์บอเนต ร่วมกับปูนขาว โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อม 3 ชนิด คือ สีย้อมแวมต , สีย้อมดิสเพิร์ส และสีย้อมซัลเฟอร์ จากการทดลองดังกล่าวพบว่า การใช้มักเนซีมคาร์บอเนตร่วมกับปูนขาวจะได้ผลดีกว่าการใช้สารเคมีชนิดเดียวในการกำจัดสีจากน้ำเสียสังเคราะห์ทั้ง 3 ประเภท ยกเว้นสีประเภทซัลเฟอร์ การใช้ปูนขาวเพียงอย่างเดียวก็สามารถกำจัดสีได้

Koprivanac et al. (1993) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีด้วยกระบวนการตกตะกอนโดยใช้ตัวตกตะกอนอนินทรีย์คือ  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  และโพลีเมอร์ชนิดประจุบวก ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า Levafloc R (Bayer) และ Colfloc 3915 (Ciba Geigy) สำหรับตัวอย่างน้ำเสียเป็นสีประเภทรีเอกทีฟ ซึ่งมีทั้งหมด 6 ตัวอย่างคือ Yellow 143, Red 183, Red 120, Brown 37, Blue 182, Blue 204 โดยทำการศึกษาอิทธิพลของพีเอช ชนิดของตัวตกตะกอนและอุณหภูมิ ผลการศึกษาพบว่า ช่วงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับโพลีเมอร์คือช่วง 6.0 - 7.0 และสำหรับตัวตกตะกอนอนินทรีย์อยู่ในช่วง 2.4-4.0 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดพบว่าโพลีเมอร์ 2 ชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีใกล้เคียงกันคือสามารถลดสีได้เกือบ 100 % และมีประสิทธิภาพดีกว่าตัวตกตะกอนอนินทรีย์ แต่ตัวตกตะกอนอนินทรีย์สามารถลด COD ได้มากกว่าโพลีเมอร์ และเมื่อศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการตกตะกอนโดยศึกษาในช่วง 20-80 °C พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะลดลง ดังนั้นในการกำจัดสีด้วยตัวตกตะกอนอุณหภูมิสูงสุดไม่ควรเกิน 30 °C

Crowe , O` Melia และ Little (1977) อ้างถึงใน Beszedits et al. (1980) ได้ศึกษาการกำจัดสี disperse 2 ชนิด คือ disperse yellow 3 และ disperse yellow 42 ด้วยโพลีอีเล็กโตรไลท์ชนิดประจุบวก ประจุลบและไม่มีประจุ พบว่าการใช้โพลีอีเล็กโตรไลท์ชนิดประจุลบและไม่มีประจุให้ผลไม่ดี ส่วนประจุบวกสามารถกำจัดสีได้ดี และได้กล่าวถึงปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตกตะกอน คือ ชนิด, ปริมาณของโพลีเมอร์และพีเอช ซึ่งสอดคล้องกับ Kace และ Linford (1975) ที่ได้ศึกษาการกำจัดสีประเภท disperse โดยเลือกโพลีเมอร์ชนิดประจุบวก 3 ตัวและประจุลบ 2 ตัว จากการทดลองพบว่า โพลีเมอร์ชนิดประจุบวกเป็นตัวตกตะกอนที่ไม่มีประสิทธิภาพ ขณะที่โพลีเมอร์ชนิดประจุบวกสามารถกำจัดสีได้มากกว่า 90 % และเมื่อใช้ร่วมกับสารส้มสามารถกำจัดสีได้มากกว่า 95 % นอกจากนี้ยังมีการใช้โพลีเมอร์ร่วมกับสารอื่นในการ

กำจัดสีของน้ำเสียดังผลการทดลองของ กาญจนิกา ครองธรรมชาติ (2536) ได้ทำการศึกษาวิธีการกำจัดสีน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้า 4 ประเภทคือ สีรีแอคทีฟ เอซิด ไดเร็กท์ และดิสเพิร์ส โดยใช้สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PACI) ร่วมกับโพลีเมอร์ชนิดประจุบวก มีชื่อทางการค้าว่า Zetag-63 จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสียขึ้นอยู่กับ ประเภทสีย้อม โทนสี ระดับพีเอชที่เหมาะสม ปริมาณ PACI และปริมาณโพลีเมอร์ที่เหมาะสม โดยผลการทดลองเมื่อใช้โพลีเมอร์ 0.2 ถึง 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลการกำจัดสีน้ำเสียชนิดต่างๆ

สี	ปริมาณ PACI (มิลลิกรัม/ลิตร)	การกำจัดสี (%)	การลด COD (%)	การลด SS (%)
รีแอคทีฟ	400-500	0.3-59.7	2.6-27.6	3.8-40.6
เอซิด	500-มากกว่า 3000	8.2-84.5	10.6-58.0	6.9-78.8
ไดเร็กท์	600-3000	7.6-81.9	6.6-46.3	11.9-41.0
ดิสเพิร์ส	100-1500	63.5-96.1	54.2-95.0	57.1-98.0

ซึ่งในการทดลอง น้ำเสียมีความเข้มของสีสูงไม่เท่ากัน แม้ผลการทดลองที่ได้จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงก็ไม่อาจกล่าวได้ว่าจะสามารถลดความเข้มของสีให้อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจได้

Nhuphan (1992) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีจากโรงงานฟอกยีนส์โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วย เฟอร์รัสซัลเฟต, เพอร์ริกซัลเฟต ร่วมกับโพลีเมอร์ซึ่งเป็นแคทไอออนิกมีชื่อทางการค้าว่า T3300 โดยทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ แล้วนำผลที่ได้มาใช้กับน้ำเสียที่เกิดจากการฟอกย้อมยีนส์จริงจากการศึกษาพบว่าผลการกำจัดสีทั้งสองสภาวะใกล้เคียงกันโดยปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตและเพอร์ริกซัลเฟตที่เหมาะสมคือ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถกำจัดสีได้ 95.55% และ 94% ตามลำดับ และเมื่อใช้โพลีเมอร์ร่วมในการตกตะกอนพบว่าสามารถกำจัดสีได้ดีขึ้นคือ 98% และ 95 % ตามลำดับ เมื่อใช้โพลีเมอร์ 8-10 มิลลิกรัมต่อลิตร

การใช้สารส้มในการกำจัดสีน้ำทิ้ง จากอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ มีทั้งที่ใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวและใช้ร่วมกับสารอื่น ดังเช่น เมื่อใช้สารส้ม 120 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถที่จะลดสีได้ 86 % (Nemerow,1952 อ้างถึงใน Beszedits et al. ,1980) และเมื่อ

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของปูนขาวและสารส้ม (Shelley et al., 1976 อ้างถึงใน Beszedits et al., 1980) โดยใช้ในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมก่อนที่จะบำบัดด้วยกระบวนการทางชีววิทยา พบว่าถ้าเติมปูนขาวปริมาณ 4500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดสีได้ 81.5% แต่ถ้าใช้สารส้มจะใช้ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดสีได้ 62.8 %

Altinbas, Dokmeci และ Baristiran (1995) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ ซึ่งน้ำเสียที่ให้เป็นน้ำเสียรวม โดยสีที่ใช้ส่วนมากจะเป็นประเภท reactive และ direct การบำบัดใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมีและระบบ activated sludge ตามลำดับ โดยตัวตกตะกอนที่ใช้คือ สารส้ม เพอร์ริกคลอไรด์ ปูนขาว และ แคลเซียมคาร์บอเนต จากผลการทดลองพบว่าที่พีเอช 6.0 การใช้สารส้มร่วมกับปูนขาวจะให้ผลดีที่สุดในการลด COD โดยใช้สารส้ม 184 mg/l และปูนขาว 1000 mg/l สามารถลด COD ได้ 42 % ส่วนการใช้สารส้มร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนต, เพอร์ริกคลอไรด์ร่วมกับปูนขาวและเพอร์ริกคลอไรด์ร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถลด COD ลงได้ 40 % , 32-45% และ 35 % ตามลำดับ และเมื่อนำน้ำเสียขั้นแรกมาบำบัดด้วยระบบ Activated sludge สามารถที่จะลด COD ได้ 60-90 % ซึ่งจากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้สารส้มในการตกตะกอนแล้วตามด้วยการบำบัดด้วยระบบ Activated sludge สามารถกำจัด COD ได้ถึง 94 %