

## การสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เริ่มต้นตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบ คือ เส้นใยซึ่งถือว่าเป็นอุตสาหกรรมขั้นต้น ต่อจากนั้นก็จะเป็นขั้นตอนการปั่นด้าย การทอหรือการถักผ้า และการฟอกย้อมพิมพ์ ซึ่งถือว่าเป็นอุตสาหกรรมขั้นกลาง และสุดท้ายเป็นอุตสาหกรรมเสื้อผ้าสำเร็จรูป ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมขั้นปลาย ที่อาศัยวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมขั้นกลางอีกทีหนึ่ง จึงกล่าวได้ว่ากระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ประกอบด้วยกระบวนการหลักที่สำคัญ 5 กระบวนการ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การผลิตเส้นใย (Fibre Production) เส้นใยหลักที่ใช้มักเป็นเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใยฝ้าย นอกจากนี้ยังมีเส้นใยประดิษฐ์หลัก ๆ คือ เส้นใยวิสโคสเรยอน เส้นใยไนลอน เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 การปั่นด้าย (Spinning)

ขั้นตอนที่ 3 การทอ-ถักผ้า (Weaving-Knitting)

ขั้นตอนที่ 4 การฟอกย้อม-พิมพ์ (Textile Finishing)

ขั้นตอนที่ 5 การผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป (Garment Manufacturing)

### 2.1 การใช้น้ำในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

การใช้น้ำในอุตสาหกรรมสิ่งทอในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต จะมีความแตกต่างกันไป กล่าวคือ

#### 2.1.1 การผลิตเส้นใย

ในขั้นตอนนี้ อุตสาหกรรมการทอผ้าซึ่งไม่มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิต และอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยประดิษฐ์ที่มีอยู่หลายชนิด ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยวิสโคส

เรยอน เส้นใยโพลีเอสเตอร์ และเส้นใยไพลอน ในอุตสาหกรรมประเภทหลังนี้จะต้องมีการใช้น้ำ ในการทำปฏิกิริยาเคมี เพื่อสังเคราะห์สารที่นำมาอัดฉีดเป็นเส้นใย ปริมาณน้ำที่ใช้และความ สกปรกของน้ำทั้งแตกต่างกันไปตามชนิดของเส้นใยที่ผลิต เช่น การผลิตเส้นใยวิสโคสเรยอน จะ มีปริมาณน้ำใช้มากกว่าการผลิตเส้นใยอีก 2 ชนิด เนื่องจากการอัดฉีดเส้นใยเป็นกระบวนการ เปียก (wet-spinning) และภายหลังจากการที่ได้เส้นใยออกมาแล้ว ยังต้องใช้น้ำในการ ชำระล้างและฟอกเส้นใยอีก ในขณะที่การอัดฉีดเส้นใยโพลีเอสเตอร์และเส้นใยไพลอนไม่มีการ ใช้น้ำเลย (melt-spinning) เส้นใยที่ได้ก็จะมีคุณสมบัติสูง ไม่จำเป็นต้องทำการชะล้างอีก การใช้น้ำ 2 กรณีหลังนี้ จึงมีเฉพาะช่วงการทำปฏิกิริยาเคมี เพื่อสังเคราะห์สารโพลีเมอร์ที่ใช้ เท่านั้น

### 2.1.2 การปั่นด้าย

ขั้นตอนนี้ไม่มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิต

### 2.1.3 การทอ-ถักผ้า

สำหรับในการทอผ้า จำเป็นต้องมีการใช้น้ำในขั้นตอนการลงแป้งเส้นด้ายขึ้น ก่อนการทอ แต่ปริมาณน้ำที่ใช้มีไม่มากนัก

### 2.1.4 การฟอกย้อม-พิมพ์

ขั้นตอนนี้นับว่าเป็นขั้นตอนที่มีการใช้น้ำมากที่สุดในบรรดากระบวนการผลิตทั้งหมด เนื่องจากต้องอาศัยน้ำเป็นตัวกลางในการผลิตแทบทุกขั้นตอน และน้ำที่ใช้ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยกลับ ออกมาเป็นน้ำเสีย ดังนั้น น้ำเสียจึงเป็นปัญหาที่สำคัญของอุตสาหกรรมในกลุ่มนี้

### 2.1.5 การผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป

ไม่มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิต

จากที่กล่าวข้างต้นนี้ จะเห็นได้ว่าปัญหาน้ำทั้งในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นปัญหาเกี่ยวข้องกับ อุตสาหกรรมฟอกย้อม-พิมพ์สิ่งทอเป็นหลัก

## 2.2 ขั้นตอนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

อุตสาหกรรมฟอกย้อม เป็นอุตสาหกรรมขั้นกลางในอุตสาหกรรมสิ่งทอ กระบวนการ ผลิตส่วนใหญ่จะเป็นกระบวนการทางเคมี ที่อาศัยการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของเส้นใย โดยการให้

สารเคมี สีข้อมที่เหมาะสม และอาศัยน้ำเป็นตัวกลาง อุตสาหกรรมฟอกข้อมจึงเป็น อุตสาหกรรมที่มีความต้องการใช้น้ำมาก ขั้นตอนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกข้อมประกอบด้วยกระบวนการหลักที่สำคัญ 3 กระบวนการ คือ

### 2.2.1 การเตรียม (Preparation)

เป็นการขจัดสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในเส้นใย เพื่อเป็นการเตรียมวัสดุสิ่งทอให้พร้อมสำหรับการข้อม หรือตกแต่งสำเร็จที่จะกระทำในลำดับต่อไป กระบวนการที่สำคัญในการเตรียม ได้แก่ การเผาขน การลอกแป้ง การขจัดสิ่งสกปรก การฟอกขาว และการชุบมัน

ก. การเผาขน ไม่มีการใช้น้ำ เป็นการผ่านผ้าไปที่แก๊สเพื่อทำลายขน และทำให้ผ้ามีพื้นผิวเรียบ

ข. การลอกแป้ง เป็นขั้นที่ต้องลงแป้งบนเส้นด้ายขึ้น แป้งจะไปเคลือบบนเส้นด้ายทำให้ไม่ติดสี เพื่อให้ผ้าสามารถมีการข้อมติดสีดี จึงมีการลอกแป้งออกก่อน วิธีการลอกแป้งมี 2 วิธี ได้แก่

1. การให้เอนไซม์เป็นตัวทำลายย่อยสลายแป้งแล้วจึงล้างแป้งออก

2. การใช้สารออกซิไดซ์ซึ่งเอเจนท์ เช่น โซเดียมเปอร์ซัลเฟต เป็นตัวลอกแป้ง เป็นต้น

ค. การขจัดสิ่งสกปรก เป็นพวกเส้นใยสังเคราะห์ไม่ค่อยสกปรกนัก เพียงแต่ต้มด้วยน้ำสบู่ แต่ถ้าเป็นเส้นใยธรรมชาติ เช่น ผ้าจะมีสิ่งสกปรกสูง จะใช้โซดาไฟที่มีความเข้มข้น แล้วจึงซักล้างออกหลาย ๆ ครั้ง

ง. การฟอกขาว สิ่งสกปรกทั้งหลายในเส้นด้ายและผ้าส่วนมาก จะถูกขจัดออกไปโดยการลอกแป้งและการขจัดสิ่งสกปรก จะคงเหลือแต่สีตามธรรมชาติ จึงต้องทำการขจัดเสียก่อน เพราะจะมีผลกระทบในด้านการข้อมสีภายหลังได้ ดังนั้น การฟอกขาว จึงถือว่าเป็นการทำความสะอาดขั้นสุดท้ายก่อนนำไปข้อมสี ปกติสารฟอกขาวที่ใช้ข้อมมีหลายตัว เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรด์ เป็นต้น

จ. การชุบมัน เป็นการทำให้ผ้ามีความมันเงา โดยการนำผ้าไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง โรงงานที่มีการชุบมันจะมีน้ำทิ้งที่มีความเป็นด่างสูงมาก ปกติการชุบมันจะต้องใช้เครื่องจักรที่มีราคาแพงมาก ดังนั้น จึงมีโรงงานจำนวนไม่มากนักที่มีการชุบมันจริง ๆ



### 2.2.2 การให้สี (textile coloration)

วัสดุสิ่งทอส่วนใหญ่ มักจะต้องมีการให้สีก่อนการใช้งาน กรรมวิธีการให้สีที่สำคัญมีอยู่ 2 วิธี คือ

ก. วิธีย้อม ซึ่งจะให้สีพื้น โดยละลายสีลงน้ำย้อม ทำการย้อมให้ได้สีที่ต้องการจนเสร็จ แล้วจึงทิ้งน้ำย้อมไป ต่อจากนั้นทำการซักล้าง

ข. วิธีการพิมพ์ จะให้สีสีนที่เป็นลวดลายที่แตกต่างกันออกไป วิธีการพิมพ์มีหลักใหญ่ ๆ โดยการเอาสีพิมพ์ผสมกับแป้งพิมพ์ เพื่อให้มีความข้นและจะไปพิมพ์บนผ้า จากนั้นนำไปผนึกโดยการใช้น้ำ แล้วจึงเอาผ้าไปซักล้างขจัดแป้งพิมพ์และสีที่ไม่ติดออกไป

จะเห็นได้ว่า ทุกขั้นตอนมีการซักล้างเสมอ ซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญของการฟอกย้อมและเป็นตัวปัญหาของการกำจัดน้ำเสียด้วย

### 2.2.3 การตกแต่งสำเร็จ (textile finishing)

เป็นขั้นตอนการปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนคุณสมบัติสิ่งทอ ให้มีความเหมาะสมในการใช้งานมากยิ่งขึ้น กรรมวิธีส่วนใหญ่จะเป็นการใส่สารเคมีที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเข้าไปในเส้นใย ตัวอย่างการตกแต่งสำเร็จที่สำคัญ เช่น การตกแต่งให้นุ่ม การตกแต่งให้มันเงา และการตกแต่งกันยับ กันน้ำ หรือกันไฟ เป็นต้น โดยวิธีจุ่มอัดน้ำยาตกแต่งสำเร็จไปบนผ้า ปกติการตกแต่งสำเร็จจะไม่มี การซักล้างอีก ดังนั้น น้ำทิ้งจึงเป็นน้ำยาที่เหลือจากอ่างน้ำยาเท่านั้น

## 2.3 ลักษณะน้ำเสียในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

### 2.3.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม มีที่มาจากแหล่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.3.1.1 น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการดำเนินการฟอกย้อมพิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ น้ำส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต น้ำที่ใช้ในกระบวนการจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

ก. น้ำที่ใช้ในการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้จะมีความเข้มข้นของสีสูง

ข. น้ำที่ใช้ในการซักล้างภายหลังการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้จะมีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกจะต่ำกว่าน้ำเสียประเภทแรก



2.3.1.2 น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ในกระบวนการฟอกย้อมจะมีการอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ถ้าไอน้ำที่ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำจะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำไปใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งไปให้ความร้อนแก่น้ำย้อมโดยตรงมันจะไปเพิ่มปริมาณของน้ำย้อม และถูกรวมเป็นน้ำเสีย

2.3.1.3 น้ำหล่อเย็น ในกระบวนการย้อมบางโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของน้ำย้อมลงในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งทำได้โดยอาศัยการใช้น้ำหล่อเย็น น้ำหล่อเย็นนี้ส่วนใหญ่เป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้

2.3.1.4 น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องและทำความสะอาดโรงงาน

2.3.2 ประเภทของสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสีย

นันทยา ยานูเมศ (2534) ได้จำแนกสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำทิ้ง จากโรงงานฟอกย้อม ดังนี้

2.3.2.1 สีย้อม ในการย้อมเส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมได้เพียงบางส่วนที่เหลือจะคงอยู่ในน้ำย้อม และจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียในที่สุด ปริมาณสีที่ยังคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทสีที่ใช้

2.3.2.2 สารเคมีที่ช่วยในกระบวนการฟอกย้อม สารเคมีเหล่านี้จะมีอยู่มากมายหลายประเภท ซึ่งส่วนใหญ่จะคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมและจะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสีย

2.3.2.3 เศษเส้นใย

## 2.4 ภาวะมลพิษที่เกิดจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

โดยทั่วไป มลภาวะที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า มีดังนี้

2.4.1 ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ (toxic to stream life) น้ำเสียจากน้ำย้อมผ้ามักมีสารที่มีพิษ ซึ่งจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา เช่น สารประกอบอนินทรีย์ เป็นต้น

2.4.2 การลดของออกซิเจนในแหล่งน้ำ (oxygen depletion in stream water) น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ จะทำให้ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง เนื่องจากถูกนำไปใช้ในขบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ และใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซัลเฟอร์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสีย้อมบางประเภท

2.4.3 ทำให้สภาวะทางกายภาพของแหล่งน้ำเสื่อมลง (physical impairment of stream condition) น้ำเสียจากโรงย้อมผ้าเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ จะก่อให้เกิดความรู้สึกพึงรังเกียจต่อผู้พบเห็น ทำให้สภาพลำน้ำไม่น่าดู นอกจากนี้สีย้อมที่มีความเข้มข้นจะขัดขวางการเดินทางของแสงลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำนั้น

## 2.5 ประเภทของสีย้อมในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

อัจฉราพร ไศละสูตร (2527) จำแนกสีย้อมออกเป็นประเภทต่าง ๆ หลายวิธีดังต่อไปนี้

- 2.5.1 จำแนกตามแหล่งที่มาของสี เช่น สีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และสีที่ได้จากการสังเคราะห์
- 2.5.2 จำแนกตามองค์ประกอบทางเคมี เช่น สีอะโซอิก สีซัลเฟอร์
- 2.5.3 จำแนกตามกรรมวิธีในการย้อม เช่น สีมอร์แดนต์
- 2.5.4 จำแนกตามชนิดของเส้นใยที่นำไปย้อมสี เช่น สีย้อมผ้าฝ้าย สีย้อมขนสัตว์ สีย้อมใยสังเคราะห์

ในที่นี้จะกล่าวถึงสีย้อมจำแนกตามกรรมวิธีในการย้อม ดังนี้

### ก. สีไคเร็กท์ ( direct dyes )

เป็นสีที่มีการดูดซึมและย้อมติดเส้นใยฝ้ายหรือใยเซลลูโลสโดยตรง ละลายน้ำง่าย โมเลกุลของสีจะแตกตัวเป็นไอออนซึ่งมีประจุลบ การย้อมติดสีจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีสารอิเล็กโตรไลต์ เช่น เกลือต่าง ๆ อยู่ด้วย สีย้อมไคเร็กท์มีทั้งสีอ่อน สีเข้ม ไม่ค่อยสดใส มีราคาถูก ย้อมง่าย ไม่คงทนต่อการซักน้ำ แต่สามารถปรับปรุงให้เป็นสีเข้มได้โดยวิธีการย้อมทับ

### ข. สีเบสิค (basic dyes)

สีชนิดนี้ละลายน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนบวก บางทีจึงเรียกสีชนิดนี้ว่า สีแคทไอออนิก (cationic dye) เป็นสีที่สามารถเกาะติดเส้นใยโปรตีน แต่ไม่เกาะติดเส้นใยเซลลูโลส มีสมบัติเด่นพิเศษ คือ มีความสดใสและความเข้มของสีดีมาก ใช้ย้อมเส้นใยอะคริลิกโดยเฉพาะ

### ค. สีแวต (vat dye)

เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถเปลี่ยนเป็นสีที่ละลายน้ำได้เมื่อทำปฏิกิริยากับ - โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไดโธไอไนด์ สารประกอบที่เกิดขึ้นสามารถเกาะติดเส้นใย

เซลลูโลสได้ดี และเมื่อถูกดูดซึมเข้าไปในเส้นใยแล้วสามารถทำให้กลับคืนเป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ เช่นเดิมได้ โดยการออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนในอากาศ หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือใช้โปแตสเซียมไดโครเมต สีชนิดนี้มีความคงทนต่อการซักดีมาก และความคงทนต่อแสงดีถึงดีมาก

#### ง. สีคัสเพิส (disperse dyes)

เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ สีชนิดนี้เป็นของเหลว หรือของแข็งที่เป็นผงหรือเป็นเม็ด เมื่อละลายน้ำจะเกิดเป็นสีที่ละเอียดกระจายอยู่ในรูปของคอลลอยด์ ปัจจุบันสีชนิดนี้ใช้พิมพ์ หรือย้อมผ้าพวกโพลีเอสเตอร์ เซลลูโลสอะซีเตต และเซลลูโลสไตรอะซีเตต

#### จ. สีเอซิด (acid dyes)

สีชนิดนี้เมื่อละลายจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุลบ บางที่เรียกสีประเภทนี้ว่าสีแอนไอออนิก (anionic dyes) ส่วนใหญ่เป็นเกลือโซเดียมของกรดซัลโฟนิก ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลคล้ายกับสีไดเร็กซ์ แต่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่า สีพวกนี้ส่วนใหญ่จะไม่เกาะติดเส้นใยเซลลูโลส หรือเกาะติดได้น้อย แต่สามารถเกาะติดเส้นใยในลอนได้ดี

#### ฉ. สีรีแอคทีฟ (reactive dyes)

สีชนิดนี้ละลายน้ำได้ง่าย โมเลกุลของสีประกอบด้วยส่วนที่อ่องไวต่อปฏิกิริยาสามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับเส้นใยเซลลูโลสโดยการเกิดพันธะโควาเลนต์กับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใย ทำให้สีมีความคงทนต่อการซักล้าง ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน และไนลอน

### 2.6 สารช่วยย้อม (additive)

สารช่วยย้อมที่ใส่ในกระบวนการย้อมผ้า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้มีการดูดติดสีได้มากขึ้นและสม่ำเสมอขึ้น นอกจากนี้ยังเพิ่มความคงทนในการยึดเกาะของสีกับเส้นใยอีกด้วย สารช่วยย้อมมีหลายชนิด แต่ที่สำคัญสามารถแบ่งได้เป็น 7 ประเภท คือ

2.6.1 กรด ใช้สำหรับการย้อมเส้นใยจำพวกโปรตีนและไนลอน เมื่อใช้ย้อมเอซิด

2.6.2 ค่า่ง ใช้สำหรับย้อมใยเซลลูโลสด้วยสีย้อมเบสิค แวต กำมะถัน อะโซอิค

คัสเพิส

2.6.3 เกลือ ใช้ในการย้อมด้วยสีเบสิค และการย้อมเซลลูโลสทุกชนิด

2.6.4 สารช่วยให้สีสม่ำเสมอ ใช้กับสีแวต เอซิด คัสเพิส

2.6.5 สารนำสี (carrier) จะใช้เมื่อย้อมใยสังเคราะห์บางชนิด



2.6.6 สารละลายอินทรีย์ จะใช้เมื่ออ้อมชนสัตว์และใยสังเคราะห์บางชนิด

2.6.7 สารรีติวซ์ ใช้สำหรับรีติวซ์ตัวสีบางชนิด เพื่อประโยชน์ในการดูดซึมเข้าไป

ในเส้นใย

## 2.7 ทฤษฎีการตกตะกอน

อนุภาคขนาดเล็กที่เรียกกันว่า อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำ โดยทั่วไปจะมีขนาด  $10^{-6}$  -  $10^{-3}$  มิลลิเมตร อนุภาคคอลลอยด์ต่าง ๆ นั้นมาจากสารอินทรีย์และอนินทรีย์ เมื่ออยู่ในน้ำ จะมีประจุประจำตัวของมันเป็นประจุบวกหรือลบแล้วแต่ชนิดของสาร แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. พวกที่ชอบน้ำ (hydrophilic) จะมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มรอบ ๆ อนุภาคเหล่านี้ แยกออกจากน้ำได้ยาก ต้องใช้แรงมากในการบังคับให้อนุภาคต่าง ๆ นั้น มาเกาะจับกันเป็นกลุ่มเป็นก้อน เพราะโมเลกุลของน้ำเสมือนสิ่งกีดขวางไม่ให้อนุภาคต่าง ๆ เข้าใกล้ และจับตัวกันได้มาก เช่น สารอินทรีย์บางชนิด

2. พวกที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เป็นอนุภาคที่สามารถแยกออกจากน้ำโดยง่าย เพราะไม่มีโมเลกุลของน้ำเป็นสิ่งกีดขวาง เช่น อนุภาคดินเหนียว

อนุภาคคอลลอยด์ที่อยู่ในน้ำ มีแรงกระทำซึ่งกันและกันอยู่ 2 ชนิด คือ แรงดูด (vander waals force) และแรงผลัก (electrical repulsive force) แรงดูดเป็นแรงธรรมชาติของอนุภาคระดับโมเลกุลที่ดูดซึ่งกันและกัน ส่วนแรงผลักเป็นแรงที่เกิดขึ้นจากประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกัน บทบาทของแรงทั้งสองชนิดมีผลต่อเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ขึ้นอยู่กับระยะห่างของอนุภาคคอลลอยด์ แรงดึงดูดวันเดอร์วาลส์จะมีผลต่อเมื่ออนุภาคเข้าใกล้กันมาก ซึ่งจะทำให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกได้ แต่ถ้าหากอนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้าสูง หรือมีชั้นกระจาย (diffuse layer) หนานั้น จะทำให้เกิดแรงผลักสูงกว่าแรงดูด จึงเป็นสาเหตุทำให้อนุภาคต่าง ๆ กระจายอยู่ในน้ำโดยไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ดังนั้น จึงกล่าวว่า ประจุไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่ทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ (O'Melia, 1972)

กระบวนการตกตะกอน (coagulation) เป็นกระบวนการที่เกิดจากการเติมสารเคมีลงในน้ำที่มีอนุภาคคอลลอยด์และสารแขวนลอย รวมตัวกันเข้ายึดเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากการผสมอย่างรวดเร็ว ทำให้สารเคมีที่เติมลงไปจับยึดกับอนุภาคต่าง ๆ ได้มาก และชั้นต่อไป เป็นกระบวนการฟล็อกคูเลชัน เป็นการผสมระหว่างสารเคมี คือ โคแอกกูแลนต์ หรือ โพลีเมอร์

กับอนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้เวลาผสมค่อนข้างนานเพื่อเปลี่ยนอนุภาคคอลลอยด์ขนาดเล็กไปเป็นอนุภาคคอลลอยด์ขนาดใหญ่ที่สามารถมองเห็นได้ เกิดได้ทั้งอนุภาคที่เป็นไฮโดรฟิลิกและไฮโดรโฟบิกคอลลอยด์

ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า การตกตะกอนทางเคมี เป็นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ เพื่อให้อนุภาคต่าง ๆ รวมตัวกัน และจับกันเป็นก้อนจะต้องมี 2 ขั้นตอน คือ

1. ต้องทำลายเสถียรภาพ (destabilization) เช่น ลดแรงผลักระหว่างอนุภาคมันลิน คัลทูลเวสต์ (2526) ได้แบ่งกลไกการทำลายเสถียรภาพออกเป็น 4 แบบ ดังนี้

1.1 กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย (diffuse layer) โดยการเพิ่มประจุตรงข้ามกับคอลลอยด์ในชั้นกระจายให้มากขึ้น ทำให้ความหนาของชั้นการกระจายลดลงอนุภาคจะสามารถเข้าใกล้ได้มากขึ้น จนแรงดึงดูดสามารถทำให้อนุภาคเกาะกันได้

1.2 กลไกดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (adsorption and charge neutralization) โดยใช้สารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถให้ประจุตรงกันข้ามกับคอลลอยด์และดูดติดผิวได้ดี จะมีผลในทางลดศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพนั่นเอง

1.3 กลไกสร้างผลึกสารขึ้นมา เพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับ (sweep coagulation) เป็นการเติมสารเคมีให้เกิดตะกอนที่มีลักษณะเหนียวเหนอะ ซึ่งสามารถห่อหุ้มอนุภาคทำให้ผิวของอนุภาคมีความเหนียวเหนอะและไม่สามารถแสดงประจุไฟฟ้า เมื่ออนุภาคสัมผัสกันจึงสามารถเกาะกันเป็นตะกอนใหญ่

1.4 กลไกการสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้สารโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มีอนุภาคยาวต่อกันเป็นเส้น เมื่อใส่ลงในน้ำจะให้ไอออนเป็นจำนวนมาก เพื่อเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์และยังมีแขนเชื่อมต่อกับอนุภาคคอลลอยด์ตัวอื่น ๆ เพื่อทำให้เกิดฟล็อก

2. ต้องทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่าง ๆ ที่หมดเสถียรภาพแล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสและเกาะจับกันเป็นกลุ่มเป็นก้อนจึงจะถือว่าเกิด ฟล็อกเคลขึ้น

Parlante (1976) อธิบายความหมายของ "โคแอกกูเลชัน" ว่าเป็นกระบวนการเกี่ยวข้องกับการตกตะกอนทางเคมีของสารแขวนลอย สีของน้ำ เพราะกระบวนการเพิ่มขนาดอนุภาคสารแขวนลอยโดยการทำหน้าที่ของสารตกตะกอนส่วนหนึ่ง เพื่อลดสีมักจะใช้ในกระบวนการแรกหรือประยุกต์ใช้ในการบำบัด โดยส่วนใหญ่พวกคอลลอยด์ที่เกี่ยวข้องกับความขุ่น สี มักจะมี

ประจุลบ ดังนั้น เพื่อให้เกิดกระบวนการ "โคแอกกูเลชัน" ต้องคำนึงถึงการใช้สารตกตะกอน การใช้โพลีเมอร์ทั้งแบบสังเคราะห์และแบบธรรมชาติที่เหมาะสม ช่วงพีเอชที่เหมาะสม การเพิ่มช่วงเวลาให้ตกตะกอน และการเพิ่มปริมาณสารตกตะกอน แต่ถ้าใช้ปริมาณสารตกตะกอนมากเกินไปอาจทำให้สิ้นเปลือง และประสิทธิภาพการตกตะกอนลดลง การจะบอกว่าเกิดกระบวนการโคแอกกูเลชันที่ดีที่สุดจะต้องใช้การทดลองเปรียบเทียบสารตกตะกอนที่หลากหลาย ๆ ระดับความเข้มข้น และหลายระดับพีเอช

## 2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการตกตะกอน

ในกระบวนการตกตะกอนจะดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ดังต่อไปนี้

ก. ชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ เนื่องจากคอลลอยด์ในน้ำเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ ที่มีสภาพเป็นประจุบวกหรือลบ ดังนั้น ถ้าหากทราบชนิดของคอลลอยด์ จะได้เลือกใช้สารที่ช่วยในการตกตะกอนได้อย่างเหมาะสม

ข. ชนิดของสารที่ใช้ในการตกตะกอน สารเคมีแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมกับคอลลอยด์ต่างชนิดไม่เหมือนกัน ตลอดจนคุณสมบัติในการตกตะกอนและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำ ลักษณะของฟล็อก ความเร็วในการตกตะกอน ราคา ความยากง่ายในการใช้งาน ดังนั้น จะต้องมีการเลือกใช้งานให้เหมาะสมระหว่างชนิดของคอลลอยด์และสารที่ใช้ในการตกตะกอน

ค. พีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน สารที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่พีเอชหนึ่งเท่านั้น ถ้าปฏิกิริยาที่เกิดไม่อยู่ในช่วงพีเอชนี้ ผลการตกตะกอนจะเกิดขึ้นไม่ดี จึงต้องมีการปรับพีเอชให้ได้ตามต้องการของสารเคมี

ง. ปริมาณของสารที่ช่วยให้ตกตะกอน มีความสำคัญเกี่ยวกับความสามารถในการตกตะกอน เพราะธรรมชาติสารใดก็ตามถ้าค่าผลคูณไอออนโปรดัก (ion product) ไม่เกินค่า  $K_{sp}$  (หรือค่าคงที่ในการละลาย) ของสารนั้นแล้ว สารนั้นจะไม่ตกผลึกตะกอนออกมาในน้ำ แต่ถ้าเกินค่า  $K_{sp}$  มันจะตกผลึกตะกอนทันที ดังนั้น ปริมาณสารที่ช่วยในการตกตะกอนจะต้องเหมาะสมต่อการตกตะกอนในแต่ละครั้ง ถ้ามากเกินไปก็จะทำให้อนุภาคกลับมีเสถียรภาพใหม่ (มันสิ้น ตัณพล เวศม์, 2526)



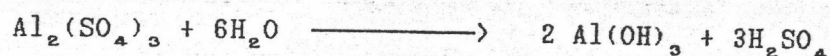
จ. เวลาและความแรงของการผสมเพื่อให้สารเคมีกระจายตัว การทำให้สารเคมีละลายน้ำอย่างทั่วถึงเพื่อให้เกิดการสร้างตะกอน จำเป็นต้องกวนน้ำเพื่อให้เกิดการปั่นป่วนอย่างรวดเร็วด้วยเวลาอันสั้น เพื่อให้สารเคมีกระจายตัวออกไปทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอยได้ทั่วถึง และยังเป็น การช่วยประหยัดเวลาอีกด้วย เพราะปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ใช้เวลา น้อยกว่ากระบวนการรวมตะกอน ดังนั้น ถ้าการใช้การกวนที่รุนแรงมากเท่าใดก็จะช่วยประหยัดเวลามากขึ้นเท่านั้น ในทางตรงกันข้าม เมื่อต้องการให้เกิดการรวมตัวของตะกอน จำเป็นต้องใช้การกวนอย่างช้า ๆ เพื่อไม่ให้ตะกอนแตก แต่จะใช้เวลานานขึ้นเพื่อเปิดโอกาสให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสลอยมาสัมผัสซึ่งกันและกันได้มากที่สุด (ศุภฤกษ์ สิ้นสุวรรณ, 2528)

## 2.9 โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (polyaluminum chloride หรือ PACl)

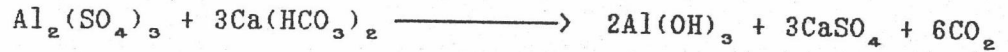
สารที่ใช้ในการตกตะกอนที่นิยมใช้ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ และกลุ่มที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ อลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์ ได้แก่ อลูมิเนียมซิลเฟต อลูมิเนียมคลอไรด์ โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ และโซเดียมอลูมิเนต กลุ่มไอร์ออนโคแอกกูแลนต์ ได้แก่ เหล็ก(II)คลอไรด์ เหล็ก(III)คลอไรด์ เหล็ก(III)ซิลเฟต เป็นต้น

อลูมิเนียมและไอร์ออน จะเป็นโคแอกกูแลนต์ที่มีประสิทธิภาพในการตกตะกอนราคาไม่แพง เมื่ออยู่ในน้ำจะมีความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก และจะถูกควบคุมปฏิกิริยาโดยพีเอชในระบบ

ปัญหาหนึ่งที่มีมักจะเกิดขึ้นต่อโคแอกกูแลนต์ คือ ผลกระทบจากค่าพีเอชและค่าสภาพต่าง (Kemmer, 1988) หากพีเอชไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม กระบวนการตกตะกอนจะมีประสิทธิภาพต่ำ หรือไม่มีประสิทธิภาพเลย ตัวอย่างเช่น การใช้อลูมิเนียมซิลเฟตเป็นตัวโคแอกกูแลนต์เพียงปริมาณเล็กน้อยจะทำให้ค่าพีเอชลดต่ำลงมาก ดังสมการต่อไปนี้

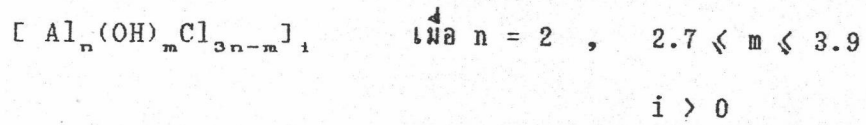


ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นอันได้แก่ สารประกอบไฮดรอกไซด์ซึ่งจะตกตะกอนลงมา และกรดแอม จะทำให้พีเอชลดต่ำลง มีผลต่อค่าสภาพต่างในน้ำ ดังนั้น จึงต้องมีการเติมสารเคมีเพื่อปรับสภาพของน้ำไม่ให้มีพีเอชต่ำลงมากนัก ดังสมการ

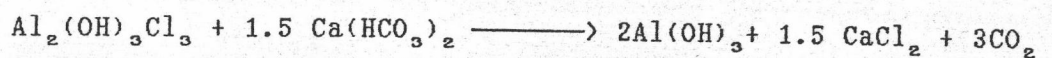


จากสมการข้างต้น ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งบางครั้งก๊าซชนิดนี้จะรบกวนขั้นตอนการตกตะกอน โดยที่ก๊าซนี้จะลอยขึ้นสู่เหนือน้ำแล้วดันตะกอนให้ลอยขึ้นมาด้วย หรือทำให้ตะกอนตกลงสู่เบื้องล่างช้าลงและทำให้เกิดความกระด้างถาวรขึ้น

PACl เป็นสารเคมีที่มีสูตรโมเลกุลเรียงต่อกันเป็นสายยาว มีสูตรโมเลกุล ดังนี้



PACl เป็นโคแอกกูแลนต์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้น เพื่อลดปัญหาดังกล่าวในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์ เมื่อมีการสร้างตะกอนเกิดขึ้น คลอไรด์ไอออนที่เกิดขึ้นจะเข้ารวมกับตะกอน แล้วตกลงสู่พื้นเบื้องล่าง จึงไม่มีปัญหาสภาพเป็นกรตมากนักเหมือนกับโคแอกกูแลนต์อื่น ๆ จึงไม่มีผลเปลี่ยนแปลงค่าสภาพต่าง เกิดผลิตภัณฑ์คาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่า จึงไม่มีปัญหาเรื่องตะกอนลอยไม่เกิดความกระด้างถาวรเหมือนสารส้ม (Kemmer, 1988) และจำนวนสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพน้ำก็น้อยกว่าด้วย ดังสมการต่อไปนี้



**คุณสมบัติของ PACl เมื่อเป็นโคแอกกูแลนต์**

1. มีอำนาจในการสร้างตะกอนและการรวมตัวของตะกอนสูง และการตกตะกอนจะเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่าสารส้ม
2. สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติในการละลายน้ำได้ดี
3. ในการทำงาน PACl จะมีช่วงพีเอชในการเกิดปฏิกิริยากว้างกว่าโคแอกกูแลนต์ตัวอื่น ๆ ปกติจะมีพีเอชอยู่ในช่วง 6 - 9 แต่บางกรณีก็จะสามารถตกตะกอนในช่วงพีเอช 5-10
4. PACl สามารถสร้างตะกอนได้เร็วกว่าสารส้ม โดยที่ใช้ระยะเวลาในการกวนเร็วน้อยกว่า

## 2.10 กลไกการตกตะกอนด้วย PACl

PACl เป็นสารเคมีที่อยู่ในรูปของแข็ง หรืออยู่ในรูปสารละลาย เป็นสารเคมีชนิดใหม่ ที่มีการวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไม่กว้างขวางนัก ดังนั้น ข้อมูลที่เกี่ยวกับเรื่องนี้จึงมีไม่มากนัก

PACl เมื่ออยู่ในน้ำจะเกิดการแตกตัวได้  $Al^{+3}$  เช่นเดียวกับกับสารส้ม ดังนั้น กลไก ในการทำปฏิกิริยาจึงน่าจะใกล้เคียงกับกลไกการทำปฏิกิริยาของสารส้ม อันอธิบายได้ดังนี้

เมื่อ PACl แตกตัวจะได้  $Al^{+3}$  ที่มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนไอออนจึงเกิดการไฮโดรไลซิสของอลูมิเนียมได้สารต่าง ๆ เช่น  $Al_{13}(OH)_{34}^{+5}$ ,  $Al_7(OH)_{17}^{+4}$ ,  $Al_6(OH)_{15}^{+3}$  เป็นต้น ซึ่งเป็นที่มีอลูมิเนียมหลายอะตอมที่เรียกว่า Polymeric Hydroxo Complex ซึ่งมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ไม่เสถียร แล้วทำให้เกิดการรวมกลุ่มกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น แล้วจึงตกตะกอน สำหรับการสร้างตะกอนพีเอช ของน้ำจะมีความสำคัญต่อประจุที่เกิดขึ้นจากการไฮโดรไลซิส เนื่องจากถ้าพีเอชต่ำสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุบวกจะเกิดขึ้นมาก จะให้ผลในการเพิ่มทั้งปริมาณและอัตราเร็วในการตกตะกอน นอกจาก  $Al^{+3}$  จะจับกับอนุภาคคอลลอยด์แล้ว  $Al^{+3}$  ยังทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลไอออนในน้ำ กลายเป็น  $Al(OH)_3$  เป็นตะกอนเล็ก ๆ และเนื่องจาก  $Al^{+3}$  มีประสิทธิภาพสูงในการทำละลาย ประจุของอนุภาคคอลลอยด์ ดังนั้น เมื่อเติม PACl ลงไปในน้ำจะต้องผสมอย่างรวดเร็วทันที แล้วจึงลดอัตราเร็วในการกวนช้าลง เพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสสัมผัสและจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น แล้วจึงแยกตะกอนที่เกิดขึ้นออกมาโดยการปล่อยให้ตกตะกอนตามธรรมชาติ

## 2.11 การใช้สารช่วยตกตะกอน (coagulant aid)

สารช่วยในการตกตะกอน หมายถึง สารที่ช่วยทำให้การตกตะกอนดีขึ้น ทำให้ตะกอน แข็งแรงยิ่งขึ้น ความสามารถในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลด เวลาในการตกตะกอนได้ด้วย สารช่วยตกตะกอนมีหลายชนิด ได้แก่ ดินเหนียว แอตติเวตเตทซิลิกา และโพลีเมอร์ต่าง ๆ เป็นต้น

โพลีเมอร์เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยกลุ่มอนุพันธ์ต่าง ๆ หลายชนิดเพื่อ ใช้เป็นตัวสร้างสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคหรือกลุ่มตะกอน เพื่อให้ตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น (0.3 - 1 มม.) โดยใช้ปริมาณโพลีเมอร์เพียงเล็กน้อย (ประมาณ 1 - 5 มก/ล) (Eckenfelder, 1989) นอกจากนี้โพลีเมอร์ยังสามารถลดประจุคอลลอยด์ได้อีกด้วย ปกติแล้วพีเอชจะไม่มีผลต่อ



กลไกการเกิดปฏิกิริยาของโพลีเมอร์

โพลีเมอร์แบ่งกว้าง ๆ ได้ 2 ชนิด คือ โพลีเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ (natural polymer) และโพลีเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ (synthetic polymer) เมื่อพิจารณาถึง ประจุที่อยู่บนสายโพลีเมอร์ จะสามารถแบ่งโพลีเมอร์ได้เป็น 3 ชนิด คือ

ก. แคทไอออน โพลีเมอร์ เป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุบวก ใช้สำหรับดูดซับอนุภาค คอลลอยด์ หรือตะกอนที่มีประจุลบ

ข. แอนไอออน โพลีเมอร์ เป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุลบ ใช้แทนที่อนุภาคคอลลอยด์ที่มีประจุลบ และทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างคอลลอยด์กับโพลีเมอร์

ค. นอนไอออนิก โพลีเมอร์ เป็นโพลีเมอร์ที่ไม่มีประจุ เป็นตัวรวมตะกอนโดยอาศัย พันธะไฮโดรเจนระหว่างผิวหน้าของอนุภาคและกลุ่มที่มีขั้วของโพลีเมอร์

การใช้โพลีเมอร์ในกระบวนการสร้างตะกอน จะต้องใส่โพลีเมอร์หลังการ เติมโคแอกกูแลนท์ไปแล้ว 30 วินาที ถึง 2 นาที (Mayhew และ Raman, 1984)

## 2.12 การควบคุมกระบวนการตกตะกอนโดยวิธีจาร์เทสต์

ค่าใช้จ่ายหลักในการตกตะกอนมี 2 ส่วน คือ ค่าก่อสร้างและค่าสารเคมีที่ใช้ในการ ตกตะกอน ซึ่งปกติจะต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเป็นจำนวนมาก ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะ ต้องลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ ทั้งนี้หน้าที่หลักของสารเคมีที่ใช้สร้างตะกอน คือ การทำลายเสถียรภาพ ของอนุภาคคอลลอยด์และการทำให้ตะกอนยึดเหนี่ยวกันแข็งแรงขึ้น เพื่อไม่ให้ตะกอนที่เกิดขึ้นแล้ว ต้องแตกเป็นส่วน ๆ

การเลือกชนิดและความเข้มข้นของโคแอกกูแลนท์นั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของโคแอกกูแลนท์ และคุณสมบัติของน้ำ ดังนั้น ในการตกตะกอนโดยใช้สารเคมีจึงต้องมีการทดสอบเพื่อหาปริมาณความ เข้มข้นที่เหมาะสมของสารที่ใช้ โดยวิธีที่เรียกว่า จาร์เทสต์

เครื่องมือในการทำจาร์เทสต์ ประกอบด้วยใบพัดสำหรับการกวนน้ำจำนวน 6 ใบ ที่ หมุนรอบในแนวนอน ซึ่งใช้ในการทดสอบน้ำตัวอย่างและสารโคแอกกูแลนท์ที่ใช้ในบีกเกอร์ โดย ปกติในการทำจาร์เทสต์มีช่วงของการกวนเร็ว ซึ่งใช้ความเร็วรอบในการกวนสูงและใช้เวลาใน การกวนน้อย ช่วงของการกวนเร็วจะเป็นช่วงในการเติมโคแอกกูแลนท์ลงในบีกเกอร์ที่ใช้ทดลอง

โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้สารเคมีที่ใช้มีการกระจายตัวออกและผสมกับน้ำอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ หลังจากการกวนเร็วแล้วจะเป็นช่วงการกวนช้า เพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสสัมผัสกันและรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น หลังจากนั้นจึงปล่อยให้ตะกอนที่เกิดขึ้นแยกตัวออกจากน้ำ โดยปล่อยให้ตกตะกอน แล้วจึงนำน้ำใสส่วนบนมาวัดค่าต่าง ๆ ตามต้องการ

## 2.13 การตรวจเอกสาร

Nhuphan ( 1992 ) ได้ทำการทดลองการกำจัดสีจากโรงงานฟอกยีนส์โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยเฟอร์ริคซัลเฟต, เฟอร์ริกซัลเฟต ร่วมกับโพลีเมอร์ โดยทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ แล้วนำผลการทดลองมาใช้กับน้ำเสียที่เกิดจากการฟอกยีนส์จริง ในการทดลองโดยใช้เฟอร์ริคซัลเฟต ตั้งแต่ 50 - 350 มก./ล. และได้มีการเปลี่ยนแปลงสารเคมีที่ใช้ปรับสภาพพีเอชของน้ำด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และปูนขาว ผลการกำจัดสีทั้งสองสภาวะใกล้เคียงกันมาก คือ ปริมาณเฟอร์ริคซัลเฟตที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 200 มก./ล. เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปรับพีเอช ให้ได้พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 11 พีเอชสุดท้ายจะได้ 10.2 และประสิทธิภาพการกำจัดสีได้ 96.5 % เมื่อใช้ปูนขาวปรับพีเอชให้เป็น 11 พีเอชสุดท้ายจะได้ 10 ประสิทธิภาพการกำจัดสี 95.5 % เมื่อนำโพลีเมอร์ร่วมในการตกตะกอน โพลีเมอร์ที่ใช้มีชื่อทางการค้าว่า T3300 ซึ่งเป็นแคทไอออนิกโพลีเมอร์สังเคราะห์มาจากแป้งร่วมตกตะกอน โดยใช้ปริมาณตั้งแต่ 1 - 10 มก./ล. สามารถกำจัดสีได้ 99 % ลดค่าซีโอดีได้ 81.5 % ลดแมงกานีส 99.5 % ในน้ำเสียสังเคราะห์ และเมื่อใช้กับน้ำเสียจริง โดยใช้พีเอชเริ่มต้นและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมนี้มาใช้กับน้ำเสียจริง ปรากฏว่าเฟอร์ริคซัลเฟตสามารถกำจัดสีได้ 95.5 % ลดซีโอดีได้ 37.5 - 42.5 % โพลีเมอร์ปริมาณ 10 มก./ล. ร่วมในการตกตะกอนสามารถกำจัดสีได้ 98 % ลดค่าซีโอดีได้ 51 % และ แมงกานีส 99 %

เมื่อใช้เฟอร์ริกซัลเฟตในการตกตะกอน และเปลี่ยนแปลงสารเคมีในการปรับสภาพน้ำ โดยใช้กรดไนตริก และกรดซัลฟูริก ปรากฏว่าสารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอชไม่มีความแตกต่างในการกำจัดสีปริมาณเฟอร์ริกซัลเฟต 200 มก./ล สามารถกำจัดสีได้ 93 - 94 % ลดค่าซีโอดีได้ 66 % ลดแมงกานีสได้ 2.5 % เมื่อใช้โพลีเมอร์ร่วมในการตกตะกอนในปริมาณ 1 - 8 มก./ล. สามารถกำจัดสีได้ 99 % ลดค่าซีโอดีได้ 81 % และแมงกานีส 99.5 % ในการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อนำปริมาณสารเคมีนี้มาทดลองใช้กับน้ำเสียจริง ปรากฏว่าเฟอร์ริกซัลเฟต

สามารถกำจัดสีได้ 94 % ลดค่าซีโอดีได้ 44 - 46.5 % และกำจัดแมงกานีสได้ 17 % เมื่อใช้โพลีเมอร์ร่วมในการตกตะกอนในปริมาณ 8 มก./ล. สามารถกำจัดสีได้ 95 % ลดค่าซีโอดีได้ 63 % และแมงกานีส 23 %

จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า สารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอชไม่มีความแตกต่างในการกำจัดสี ปริมาณสารเคมีที่ใช้ทดลองกำจัดสีจากน้ำเสียจากการสังเคราะห์และน้ำเสียจริง มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีใกล้เคียงกัน โพลีเมอร์มีส่วนเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสี

Livke, Ostrovka และ Gendruseva (1989) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้าประเภทสีอนินทรีย์ที่มีความเข้มข้นของสีสูงในการบำบัดขั้นตติยภูมิ โดยใช้เฟอร์ริกซัลเฟต ( $FeSO_4$ ) เป็นสารเคมีในการตกตะกอน ผลจากการทดลองพบว่าหากใช้เฟอร์ริกซัลเฟต ปริมาณ 700 - 800 มก./ล. จะสามารถกำจัดสีได้ 55 - 60 % ลดปริมาณซีโอดีได้ 40 - 48 % โดยที่สภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนประมาณ 10

Mamontova และ Klimenko (1988) ได้ทำการศึกษาวิธีการกำจัดสีน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้า พบว่าวิธีการบำบัดทางฟิสิกส์ - เคมีที่ดีที่สุด คือ การใช้สารตกตะกอนที่มีส่วนประกอบเป็นแร่ธาตุ (mineral coagulation) โดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีถึง 60 - 70 % แต่จะต้องมีการควบคุมพีเอชในระบบให้เหมาะสม ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะแตกต่างกันไป ในบทความได้กล่าวไว้ว่าสีที่สามารถละลายน้ำได้จะไม่สามารถกำจัดได้โดยสารส้ม หรือ เฟอร์ริกซัลเฟต

Besjeditz, Lugowaki และ Miyamoto (1979) ได้ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า ส่วนใหญ่ใช้อลูมิเนียมซัลเฟต เหล็กของเหล็ก โพลีเมอร์ต่าง ๆ เช่น ชนิดประจุบวก ประจุลบ และทั้งที่ไม่มีประจุเป็นตัวบำบัดในกลุ่มสีแวต ดิสเพิส และซัลเฟอร์ สามารถลดสีได้ 75 - 90 % โดยขึ้นกับปริมาณสารตกตะกอนและช่วงพีเอชที่เหมาะสม จากการทดลองพบว่าพวกโพลีอิเล็กโตรไลต์ชนิดประจุลบเป็นตัวที่ไม่มีประสิทธิภาพในการใช้เป็นตัวทำให้เกิดฟล็อกคูลชัน แต่ถ้าเป็นประจุบวกจะเหมาะสมกว่าปกติ สารส้มสามารถลดสีได้ถึง 91 % ถ้าใช้โพลีเมอร์ร่วมด้วยจะสามารถลดสีได้ถึง 92 - 96 %

Judkin และ Hornsby (1978) ได้ทดลองการกำจัดสีจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้ปูนขาว มักเนเชียมคาร์บอเนต และแมกเนเชียมคาร์บอเนตร่วมกับปูนขาว (โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกเนเชียมคาร์บอเนต แต่ให้ปูนขาวคงที่ในปริมาณ 330



มก./ล.) ทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ 3 ประเภท คือ แวต ดิสเพิส และซิลเฟอร์ สรุปผลได้ดังนี้ น้ำเสียประเภทแวต ทำการทดลอง 2 โทนสี คือ โทนสีน้ำเงิน และโทนสีเหลือง น้ำเสียโทนสีน้ำเงินไม่ว่าจะใช้ปูนขาวหรือแมกเนเซียมคาร์บอเนตเพียงอย่างเดียวจะต้องใช้ถึง 600 - 800 มก./ล. จึงจะสามารถกำจัดได้ 82 % แต่ถ้าใช้แมกเนเซียมคาร์บอเนต 40 มก./ล. ร่วมกับปูนขาว จะสามารถกำจัดได้ถึง 98 % โดยที่ปูนขาวปริมาณเดียวกันนี้สามารถกำจัดได้เพียง 40 % สำหรับน้ำเสียโทนสีเหลืองสามารถกำจัดได้ง่ายเมื่อใช้แมกเนเซียมคาร์บอเนต 50 มก./ล. ร่วมกับปูนขาวจะกำจัดได้ถึง 91 % ในขณะที่ปูนขาวจำนวนเดียวกันนี้สามารถกำจัดได้เพียง 26 % สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ประเภทดิสเพิสได้ทดลองกับโทนสีน้ำเงิน เมื่อใช้ปูนขาวหรือแมกเนเซียมคาร์บอเนตเมื่อใช้เพียงลำพัง ประสิทธิภาพในการกำจัดจะต่ำมาก โดยใช้ปูนขาว 1200 มก./ล. จะกำจัดได้สูงสุด 18 % แมกเนเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 1000 มก./ล. จะกำจัดได้ 53 % ถ้าหากใช้แมกเนเซียมคาร์บอเนต 50 มก./ล. ร่วมกับปูนขาว จะสามารถกำจัดได้ 54 % น้ำเสียสังเคราะห์ประเภทซิลเฟอร์ได้ทดลองกับโทนสีน้ำเงิน การใช้ปูนขาวอย่างเดียวในปริมาณ 200 มก./ล. สามารถกำจัดได้ 92 % ถ้าใช้แมกเนเซียมคาร์บอเนตเพียงอย่างเดียวจะต้องใช้ถึง 700 มก./ล. จึงจะสามารถกำจัดได้ หากใช้แมกเนเซียมคาร์บอเนต 10 มก./ล. ร่วมกับปูนขาว จะกำจัดได้ 94 % และถ้าใช้แมกเนเซียมคาร์บอเนต 50 มก./ล. ร่วมกับปูนขาวจะสามารถกำจัดได้ 100 %

จากการทดลองดังกล่าวจะเห็นว่า การใช้แมกเนเซียมคาร์บอเนตร่วมกับปูนขาวจะได้ผลดีกว่าการใช้สารเคมีชนิดเดียวในการกำจัดจากน้ำเสียสังเคราะห์ทั้ง 3 ประเภท ยกเว้น สีประเภทซิลเฟอร์ การใช้ปูนขาวเพียงอย่างเดียวก็สามารถกำจัดได้ อย่างไรก็ตาม การทดลองดังกล่าวไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณปูนขาวที่ใช้ร่วมกับแมกเนเซียมคาร์บอเนต ทำให้ไม่ทราบว่าจำนวนแมกเนเซียมคาร์บอเนตหนึ่ง ๆ จะเหมาะสมกับปริมาณปูนขาวจำนวนเท่าใดในการกำจัดจากน้ำเสีย

EPA (1978, อ้างถึงใน สมคิด วงศ์ไชยสุวรรณ, 2525) ได้สรุปถึงการใช้น้ำส้มในการกำจัดสีของน้ำทิ้งอันเจือปนมาจากสีย้อมแวต ซิลเฟอร์ ดิสเพิสได้เป็นอย่างดี ซึ่งน้ำย้อมดังกล่าวข้างต้นเป็นน้ำย้อมที่ไม่ละลายน้ำ แต่ไม่ได้กล่าวถึงการกำจัดสีจากน้ำย้อมประเภทอื่นที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น รีแอคทีฟ

สมคิด วงศ์ไชยสุวรรณ (2525) ได้ทดลองกำจัดสีจากน้ำเสียสังเคราะห์ประเภทรีแอกทีฟ ไคเร็กซ์ ซีลเฟอร์ เมททอลิค และอะโซอิค โดยใช้น้ำส้ม, แมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮดรอกไซด์ (MCHB) เป็นสารช่วยตกตะกอนร่วมกับปูนขาว โดยน้ำเสียจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่ได้ใส่น้ำส้ม และน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใส่น้ำส้ม ผลการทดลองกล่าวโดยสรุป คือ

**น้ำเสียรีแอกทีฟ** การใช้น้ำส้มเป็นตัวกำจัดสี ทั้งในตัวอย่างที่มีหรือไม่มีน้ำส้มช่วยย้อมจะต้องใช้น้ำส้มเป็นปริมาณสูงมากกว่า 1000 มก./ล. ก็ไม่สามารถจะกำจัดสีได้

การใช้น้ำส้มเพียงอย่างเดียวไม่สามารถกำจัดสีรีแอกทีฟประเภทที่มีน้ำส้มช่วยย้อมได้เลย แต่จะมีประสิทธิภาพดีขึ้นถ้าหากน้ำเสียนั้นไม่มีน้ำส้มช่วยย้อม จากการทดลองถ้าใส่น้ำส้มร่วมกับปูนขาวแล้ว ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสียที่มีน้ำส้มช่วยย้อมจะดีขึ้นแต่ต้องใช้ปริมาณน้ำส้มจำนวนมาก แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีก็ยังคงต่ำอยู่มาก เช่น ใช้ MCHB 200 มก./ล. ร่วมกับปูนขาว 1000 มก./ล. จะกำจัดสีได้เพียง 20 % เท่านั้น

**ซีไคเร็กซ์** กล่าวได้ว่าเมื่อใช้น้ำส้มเป็นตัวกำจัดสีในน้ำเสียที่มีน้ำส้มช่วยย้อมจะต้องใช้มากกว่า 250 มก./ล. ขึ้นไป และ 125 มก./ล. ในน้ำเสียที่ไม่มีน้ำส้มช่วยย้อม จึงจะสามารถกำจัดสีได้ถึง 90 %

การใช้น้ำส้มร่วมกับ MCHB จะกำจัดสีได้ดีกว่าการใช้น้ำส้มอย่างเดียว แต่จะต้องใช้เป็นปริมาณมากจึงจะสามารถกำจัดสีได้ ส่วนน้ำเสียที่ไม่มีน้ำส้มช่วยย้อม การใช้น้ำส้มเพียงอย่างเดียวก็จะสามารถกำจัดสีได้จนเป็นที่น่าพอใจของผู้วิจัย

**ซีลเฟอร์** การใช้น้ำส้มเป็นตัวกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำส้มช่วยย้อม จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นถ้าใส่น้ำส้มในจำนวนที่พอเหมาะ แต่ถ้าใส่น้ำส้มมากเกินไปประสิทธิภาพในการกำจัดจะต่ำลง ในขณะที่น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีน้ำส้มช่วยย้อมจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

การใช้น้ำส้มร่วมกับปูนขาวในการกำจัดน้ำเสียที่มีน้ำส้มช่วยย้อมจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้น้ำส้มอย่างเดียว แต่ค่าของสีที่ออกมาจะสูงอยู่ และหากเพิ่มปริมาณปูนขาวในบางโทนสีก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดต่ำลง ส่วนน้ำเสียที่ไม่มีน้ำส้มช่วยย้อม การใช้น้ำส้มร่วมกับปูนขาวจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้น้ำส้มเพียงอย่างเดียว