บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542)

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อมประกอบด้วย 3 กระบวนการ ดังนี้

2.1.1 การเตรียมผ้า (Preparation)

กระบวนการเตรียมผ้าเป็นการนำผ้าดิบออกจากโรงทอ มาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อเตรียมผ้าให้อยู่ในสภาพที่สามารถนำไปย้อมสีหรือตกแต่งสำเร็จได้ สำหรับกระบวนการที่ใช้ในการเตรียมผ้า มีหลายประการที่สำคัญดังนี้ คือ

1. การเผาขน (Singeing)

กระบวนการเผาขนเป็นวิธีการกำจัดปลายเส้นใยที่โผล่ออกจากผิวผ้าด้วยการใช้ความร้อนเผาทำลายเพื่อทำให้ผ้ามีพื้นผิวที่ดูเรียบและมีความมันเงา กระบวนการเผาขนนี้ ส่วนมากกระทำกับผ้าผืนโดยเฉพาะผ้าฝ้าย ผ้าใยผสมที่มีฝ้ายเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย

2. การลอกแป้ง (Desizing)

ในการทอผ้าจำเป็นต้องมีการลงแป้ง เพื่อให้การทอดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่เมื่อนำผ้าที่ทอเสร็จแล้วไปทำการฟอกย้อม แป้งที่เคลือบอยู่บนเส้นด้ายมีผลกระทบต่อสมบัติในการดูดซึมน้ำและสารเคมีของเส้นใย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการกำจัดออกไป ขั้นตอนการลอกแป้งสามารถทำได้ 4 วิธีคือ การหมัก (Rot steeping) การใช้กรด (Acid steeping) การใช้เอน ไซม์ (Enzymatic desizing) และการกำจัดแป้งด้วยสารออกซิไดซ์ (Oxidizing agent)

3. การกำจัดสิ่งสกปรก (Scouring)

การกำจัดสิ่งสกปรก หมายถึง การกำจัดไขมันและสารปนเปื้อนต่าง ๆ เช่น สารประกอบพวกเกลืออินทรีย์และอนินทรีย์ กรรมวิธีการกำจัดสิ่งสกปรกของเส้นใยแต่ละชนิดมีวิธีการไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสิ่งสกปรกในเส้นใยแต่ละชนิด โดยปกติเส้นใยธรรมชาติมีสิ่งสกปรกอยู่มากกว่าเส้นใยสังเคราะห์ เพราะฉะนั้นจึงต้องการกรรมวิธีการกำจัดที่รุนแรงกว่า สารเคมีที่ใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกได้แก่ โซดาไฟ น้ำสบู่ สารจับโลหะ

4. การฟอกขาว (Bleaching)

การฟอกขาว หมายถึง การกำจัดสารมีสีในธรรมชาติที่ติดมากับวัสดุสิ่งทอ โดยใช้ปฏิกิริยาเคมีทำให้เส้นใยมีความขาวขึ้น การฟอกขาวมีความจำเป็นเฉพาะกับผ้าที่นำไปทำเป็นผ้าขาวและผ้าย้อมสีอ่อน เพื่อทำให้ได้ความขาวหรือได้สีที่สดใส สารฟอกขาวที่มีความสำคัญและใช้กันมากในวงการสิ่งทอ ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารประกอบไฮโปรคลอไรท์

5. การชุบมัน (Mercerization)

กระบวนการชุบมันมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มและปรับปรุงความสามารถในการดูดติดสี เพิ่มความสดใสและเงามัน และช่วยในการกำจัดแป้งส่วนที่เหลือจากการลอกแป้ง การชุบมันใช้กับเส้นใยฝ้าย เส้นใยฝ้ายผสมเส้นใยพอลิเอสเตอร์ โดยทั่วไปแล้วนิยมทำหลังจากผ้าหรือเส้นด้ายผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวมาแล้ว

2.1.2 การย้อมสี (Textile dyeing)

วัสดุสิ่งทอส่วนใหญ่ต้องมีการนำไปให้สีก่อนการใช้งานด้วยวิธีการย้อม (Dyeing) หลักการย้อมสี คือ การใช้วิธีการที่เหมาะสมให้สารประกอบเคมีที่ละลายเป็นสารละลายหรือกระจายอยู่ในสารละลาย (Dispersion) ไปทำให้เกิดสีบนวัสดุที่ย้อม (Substrates) เช่น เส้นใย ผ้าฝ้าย ฯลฯ แล้วทำให้เกิดสีบนวัสดุที่ย้อมอย่างถาวร การเกิดสีบนวัสดุที่ย้อมไม่เพียงแต่เกิดบนผิวหน้าเท่านั้น แต่สามารถซึมให้เกิดสีตลอดบนผิวรอบภาคตัดขวางของวัสดุที่ย้อมด้วย ขั้นตอนการย้อมผ้ามีส่วนประกอบสำคัญที่มีผลต่อการย้อม คือ

1. ชนิดของเส้นใย

เส้นใยธรรมชาติดูดซึมน้ำได้ดี และเมื่อเปียกน้ำมีการพองตัว ทำให้สีย้อมซึ่งละลายอยู่ในน้ำแทรกซึมเข้าสู่เส้นใยได้ง่าย ส่วนเส้นใยสังเคราะห์ เช่น พอลิเอสเตอร์ ดูดซึมน้ำได้น้อย สีย้อมแทรกซึมเข้าสู่เส้นใยได้ยาก ทำให้การย้อมเกิดขึ้นยากกว่า การย้อมเส้นใยสังเคราะห์จึงต้องเลือกสีย้อมให้เหมาะสมกับธรรมชาติของเส้นใยสังเคราะห์นั้น ๆ

2. สีย้อม

สีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยมีหลายชนิด การย้อมที่ได้ผลดีขึ้นอยู่กับความสามารถในการรวมตัวของสีย้อมกับเส้นใยต้องมีมากกว่าความสามารถในการรวมตัวของสีย้อมกับน้ำ สีย้อมส่วนใหญ่เป็นสารเคมีที่เป็นผลิตภัณฑ์มาจากน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนพวกสายโซ่ตรง (Aliphatic) และแอโรแมติก (Aromatic)

3. กรรมวิธีการย้อม

การย้อมผ้าสามารถกระทำได้หลายวิธีทั้งที่เป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ผู้ย้อมสามารถเลือกใช้วิธีการย้อมที่เหมาะสมกับสภาพโรงงานและความต้องการเฉพาะกรณี กรรมวิธีการย้อมผ้าและเส้นด้ายสามารถแบ่งอย่างกว้าง ๆ ออกได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

- การย้อมแบบดูดซึม (Exhaust method) ผ้าหรือวัสดุที่ต้องการย้อมถูกแช่หรือหมุนอยู่ในอ่างย้อม จนกระทั่งการย้อมเสร็จสมบูรณ์ (Batch process) เครื่องย้อมที่ใช้กันมาก เช่น เครื่องจิกเกอร์ เครื่องวินซ์ เครื่องเจ็ต เครื่องย้อมเส้นด้ายสำเร็จรูป

- การย้อมด้วยวิธีกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous method) หรือ Pad-batch dyeing ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

การอัดน้ำสีและสารเคมี ⟶ การม้วนเก็บไว้ ⟶ การซัก

เครื่องย้อมที่ใช้ประกอบด้วย อ่างน้ำย้อมสำหรับจุ่มผ้า ลูกกลิ้งสำหรับอัดน้ำย้อมเข้าผ้าและรีดเอาน้ำย้อมส่วนเกินออกจากผ้า ลูกกลิ้งสำหรับม้วนเก็บผ้า ตู้อบในกรณีที่จำเป็นและอ่างซัก

- การย้อมด้วยวิธีต่อเนื่อง (Continuous method) ในวิธีนี้ ผ้าเคลื่อนที่ไปตามขั้นตอนการย้อมต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีการหยุดแช่อยู่ที่จุดใด ตั้งแต่เป็นผ้าขาว จนกระทั่งออกมาเป็นผ้าย้อมสำเร็จ วิธีนี้จึงเป็นวิธีการย้อมที่เร็วที่สุด และเหมาะกับการย้อมทีละมาก ๆ ข้อเสียของวิธีนี้คือ ถ้าเกิดมีการผิดพลาดขึ้นในระหว่างการย้อม กว่าที่ข้อผิดพลาดนั้นถูกค้นพบและได้รับการแก้ไข ผ้าอาจเสียไปเป็นจำนวนมาก เพราะฉะนั้น ก่อนที่ดำเนินการย้อมด้วยวิธีนี้ จำเป็นต้องมีการเตรียมการอย่างระมัดระวัง กรรมวิธีโดยทั่ว ๆ ไปประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้คือ

การอัดน้ำสี + สารเคมี $\xrightarrow{\text{อบแห้ง}}$ การผนึกสีโดยใช้ไอน้ำหรือความร้อน $\longrightarrow$ การซัก

2.1.3 การตกแต่งสำเร็จ (Textile finishing)

การตกแต่งสำเร็จเป็นกระบวนการหนึ่งในการตกแต่งสิ่งทอ ซึ่งมักกระทำเป็นขั้นตอนสุดท้ายต่อจากการเตรียมและการให้สีสิ่งทอ เพื่อที่เปลี่ยนแปลงปรับปรุง หรือเพิ่มเติมสมบัติบางอย่างให้กับผลิตภัณฑ์

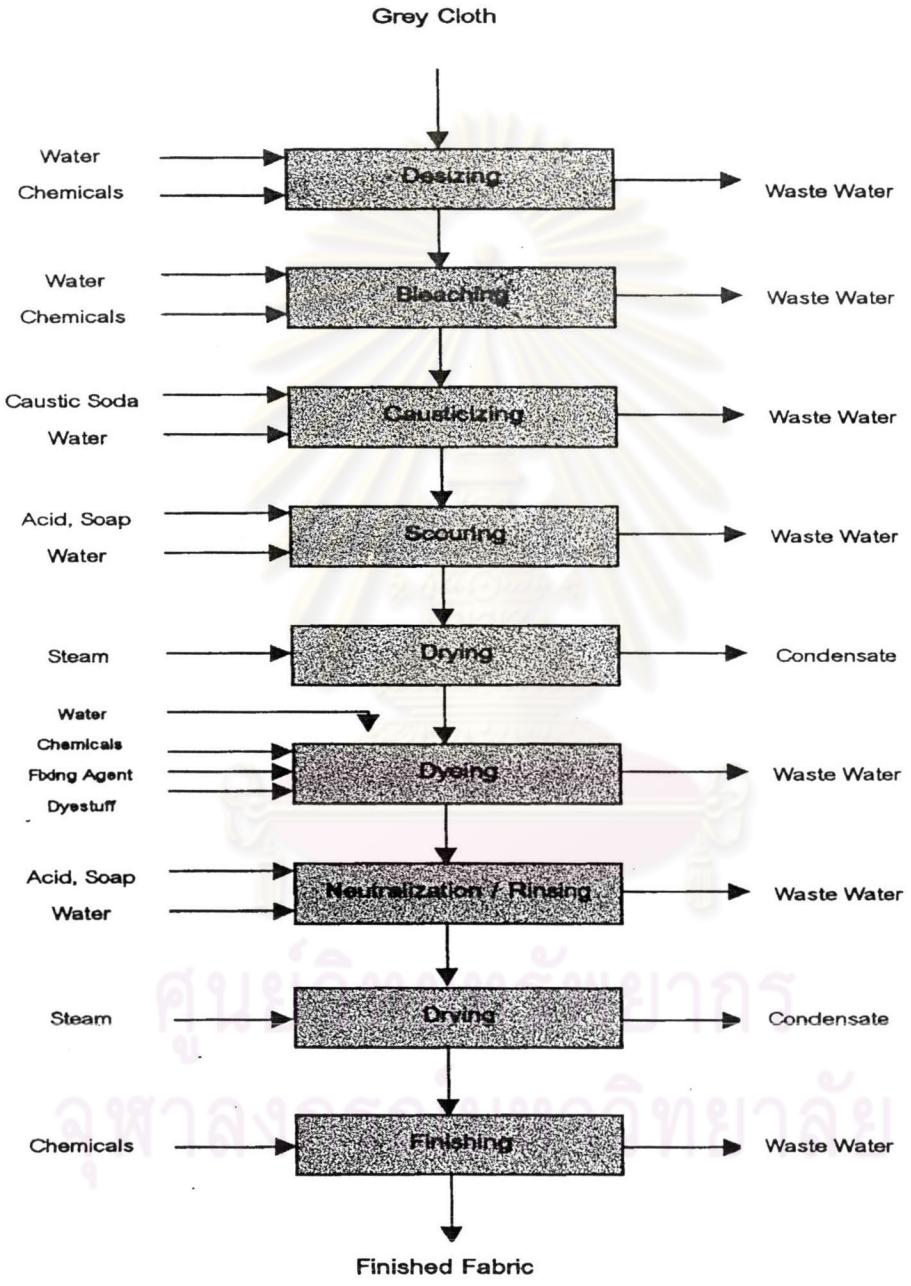
2.2 กระบวนการฟอกย้อมของโรงงานฟอกย้อมกรณีศึกษา

กระบวนการฟอกย้อมของโรงงานฟอกย้อมกรณีศึกษาทั้ง 3 แห่ง คือ บริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด บริษัทศิลปเสนีพาณิชย์ จำกัด และ หสน.ธนไพศาล ประกอบด้วยกระบวนการหลักที่สำคัญ 3 กระบวนการ ดังนี้ การเตรียมผ้า การย้อมสี และการตกแต่งสำเร็จ ดังรูปที่ 2.1 โดยเฉพาะกรรมวิธีการย้อมสีผ้าสามารถกระทำได้หลายวิธี โดยผู้ผลิตสามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการของลูกค้า

การย้อมสีแอซิดและไดเร็กต์สามารถย้อมแบบดูดซึม (Exhaust dyeing) โดยใช้อุณหภูมิการย้อมที่ใกล้จุดเดือดและใส่เกลือปริมาณ 10-20 กรัมต่อลิตร หรือร้อยละ 5-25 ขึ้นอยู่กับความเข้มสีที่ต้องการ อัตราส่วนระหว่างผ้ากับน้ำย้อม (Liquor ratio L/R) รวมทั้งชนิดสีที่ใช้ในทางปฏิบัติ การใส่เกลือมักแบ่งเป็นส่วนๆ เช่น 4 ส่วนในสัดส่วนที่ไม่เท่ากัน โดยเริ่มเติมส่วนที่มีปริมาณน้อยก่อน แล้วตามด้วยส่วนที่มีปริมาณมากขึ้น

การย้อมสีรีแอกทีฟสามารถย้อมแบบจุ่มอัด-หมัก (Cold pad-batch) เป็นการย้อมโดยวิธีนำผ้าไปจุ่มอัดผ่านสารละลายสีที่มีสภาวะด่างแล้วม้วนเก็บ นำแผ่นพลาสติกมาหุ้มเพื่อกันไม่ให้น้ำระเหย หมักที่อุณหภูมิห้องไว้นานตั้งแต่ 2 ชั่วโมงขึ้นไปจนถึงข้ามคืน ขึ้นอยู่กับอัตราการผนึกติด

ของสีนั้นๆ ขณะทำการหมักควรหมุนเป็นครั้งคราวเพื่อป้องกันไม่ให้สีไหลลงด้านล่าง โดยเฉพาะในกรณีที่กำหนดให้มีน้ำสีอยู่ในผ้ามาก (High liquor pick-up) หลังครบตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วล้างสีที่ไม่ได้เกิดพันธะกับเส้นใยออกด้วยน้ำเย็น น้ำอุ่นและต้มเดือดด้วยสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 กระบวนการฟอกย้อมของโรงงานฟอกย้อมกรณีศึกษา (ธนไพศาล, 2545)

2.3 สีย้อมและการจำแนกสีย้อม

2.3.1 การเกิดสีของสีย้อม (มนตรี รัตนวิจิตร และคณะ, 2543)

สีที่ปรากฏออกมาทำให้สายตาคนปกติมองเห็นได้นั้นเกิดมาจากการจัดเรียงตัวของกลุ่มอะตอมภายในโมเลกุลของสีย้อม กลุ่มอะตอมเหล่านี้เรียกว่า โครโมฟอร์ (Chromophores) ซึ่งได้แก่

- กลุ่มไนโตร (Nitro group): - NO_2
- กลุ่มเอโซ (Azo group: -N=N-)
- กลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl: C=O)
- อนุพันธ์แอลคิลแอมโมเนียม (Alkyl ammonium derivatives: R-NH^+_3)

กลุ่มอะตอมต่าง ๆ เหล่านี้เป็นตัวไปเพิ่มสีให้แก่สารประกอบแอโรแมติก (Aromatic compound) โดยดูดกลืนแสงสีขาวไว้บางแถบแสง และปล่อยออกมาบางแสง ทำให้มนุษย์มองเห็นสีย้อมมีโทนสีที่แตกต่างกันออกไป

สีย้อมโดยทั่วไปนอกจากมีกลุ่มอะตอมโครโมฟอร์แล้ว ยังมีกลุ่มอะตอมอีกกลุ่มหนึ่ง ได้แก่ กลุ่มอะตอมออกโซโครม (Auxochromes) ได้แก่ -OH, -NH_2, -NHR, -NR_2, -SO_3 และ –COOH เพื่อทำให้สีย้อมยึดติดกับเส้นใยได้ โมเลกุลสีที่ขาดกลุ่มอะตอมออกโซโครม จะขาดสมบัติในการยึดกับเส้นใย โมเลกุลดังกล่าวนี้เรียกว่า โครโมเจน (Chromogen) กลุ่มอะตอมโครโมฟอร์ ออกโซโครม และโครมาเจนนี้เป็นส่วนสำคัญในการจำแนกกลุ่มของสีย้อมตามโครงสร้างทางเคมี

2.3.2 การจำแนกสีย้อม

การจำแนกสีย้อมอาจพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่ละลายน้ำเรียกว่า สีย้อม (Dye) และชนิดที่ไม่ละลายน้ำเรียกว่า สารสี (Pigment) เมื่อนำไปใช้จำเป็นต้องหาตัวทำละลายช่วยทำให้สารนี้ละลายน้ำ ซึ่งเมื่อละลายน้ำแล้วมีสมบัติเหมือนกับสีย้อม สามารถดูดซึมเข้าไปในเส้นใยได้ ทำให้การจำแนกกลุ่มสีแบบนี้ค่อนข้างสับสน

การจำแนกสีย้อมอีกวิธีหนึ่งคือ การจำแนกสีตามส่วนประกอบทางเคมี ซึ่งมีความยุ่งยากมาก สำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้ทางด้านเคมี นอกจากนี้วิธีการจำแนกสีประเภทนี้ไม่เป็นที่นิยม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มากนัก เนื่องจากสีย้อมบางชนิดมีโครงสร้างที่ยังไม่เป็นที่ชัดเจน ทำให้การจำแนกสีวิธีนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่ แต่อย่างไรก็ตามการจำแนกสีโดยใช้สูตรโครงสร้างทางเคมีนี้เป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับผู้ที่มีความรู้ทางด้านเคมี และสำหรับสีย้อมที่ทราบสูตรโครงสร้างทางเคมีอย่างแน่นอน

การจำแนกสีย้อมที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ การจำแนกสีย้อมตามการนำไปใช้งาน ซึ่งเป็นวิธีที่ยอมรับกันทั้งผู้ใช้และอุตสาหกรรม สีย้อมแต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับเส้นใยแต่ละชนิด แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน (Buckley, 1992; อ้างถึงในอภิชาติ, 2539)

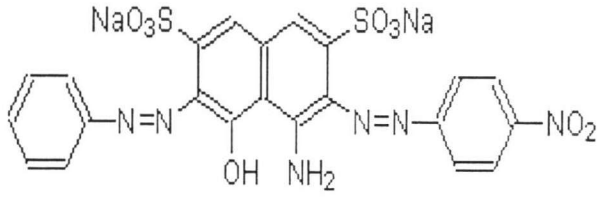
ประเภทสีย้อม	สมบัติทางกายภาพและเคมี	เส้นใยที่เหมาะสมกับสีย้อม	พันธะหรือกลไกการติดสี	วิธีใช้ทั่วไป
สีย้อมแอซิด (acid dye)	- ประจุลบ - ละลายน้ำดี - สีติดไม่แน่น	- ไนลอน - ขนสัตว์	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 3 - 5 - เส้นใยมีประจุบวกติดกับสีย้อมที่มีประจุลบที่อุณหภูมิ 50 - 110 °C
สีเมทัลคอมเพล็กซ์ (metal complex dye)	- ประจุลบ - ละลายน้ำน้อย - สีติดแน่นดี	- ไนลอน - ขนสัตว์	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 5 - 7 - เส้นใยมีประจุบวกติดกับสีย้อมที่มีประจุลบที่อุณหภูมิ 50-110 °C
สีย้อมไดเร็กต์ (direct dye)	- ประจุลบ - ละลายน้ำดี - สีติดไม่แน่น	- ฝ้าย - วิสคอส	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายด่างอ่อน - เติมอิเล็กโทรไลต์ โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต และสีย้อม ที่อุณหภูมิ 98 °C
สีย้อมเบสิก (basic or cationic dye)	- ประจุบวก - ละลายน้ำดี	- อะคริลิก	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 4 - 6 - เติมสีย้อมแล้วเพิ่มอุณหภูมิให้ได้ 100 - 105 °C
สีย้อมดิสเพิร์ส (disperse dye)	- ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมาก - กระจายอยู่ในน้ำเป็นอนุภาคคอลลอยด์ - สีติดแน่นดี	- อะคริลิก - พอลิเอสเตอร์ - ไนลอน - เซลลูโลสแอซีเทต	- คอลลอยด์ของสีย้อมดูดติดผิวกับเส้นใย	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 4.5 - เติมสีย้อม แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้ได้ 130 °C

ตารางที่ 2.1 การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน (Buckley, 1992; อ้างถึงในอภิชาติ, 2539) (ต่อ)

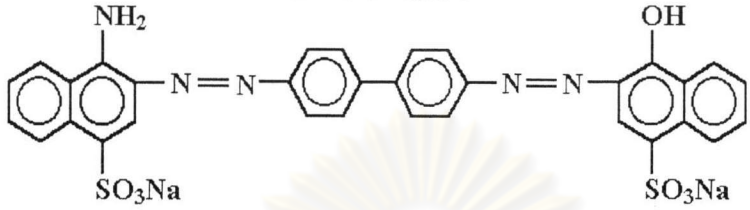
ประเภทสีย้อม	สมบัติทางกายภาพและเคมี	เส้นใยที่เหมาะสมกับสีย้อม	พันธะหรือกลไกการติดสี	วิธีใช้ทั่วไป
สีย้อมรีแอกทีฟ (reactive dye)	- ประจุลบ - ละลายน้ำดี - สีติดแน่นดี	- ฝ้าย - วิสคอส - ขนสัตว์	- พันธะโคเวเลนซ์	- แช่เส้นใยในสารละลายกลาง - เติมเกลือเพื่อกระจายสีสู่เส้นใย - เติมด่างเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยกับสีย้อม
สีย้อมซัลเฟอร์ (sulphur dye) และสีย้อมแวต (vat dye)	- เป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- ฝ้าย - วิสคอส	- ปฏิกิริยาตกตะกอนผลึกภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลายด่างที่มีโซเดียมซัลไฟด์ - สีย้อมจะแพร่กระจายไปสู่เส้นใยด้วยอิเล็กโทรไลต์
สีย้อมแอโซอิก (azoic dye)	- เป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- ฝ้าย - วิสคอส	- ปฏิกิริยาตกตะกอนผลึกภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลายด่างที่มีโซเดียมซัลไฟด์ - สีย้อมจะแพร่กระจายไปสู่เส้นใยด้วยอิเล็กโทรไลต์ - ต้มเพื่อให้เกิดตะกอนผลึก
สีย้อมมอร์แดนท์หรือโครม (mordant or chrome dye)	- ประจุลบ - ละลายน้ำได้ - สีติดแน่นได้	- ขนสัตว์	- พันธะเชิงซ้อนของเส้นใยโครมและสีย้อม	- แช่เส้นใยในสารละลายกรด - เติมโซเดียมไดโครเมตและสีย้อม - เพิ่มอุณหภูมิถึง 98° C

2.4 ชนิดของสีย้อมที่ใช้ในการศึกษา

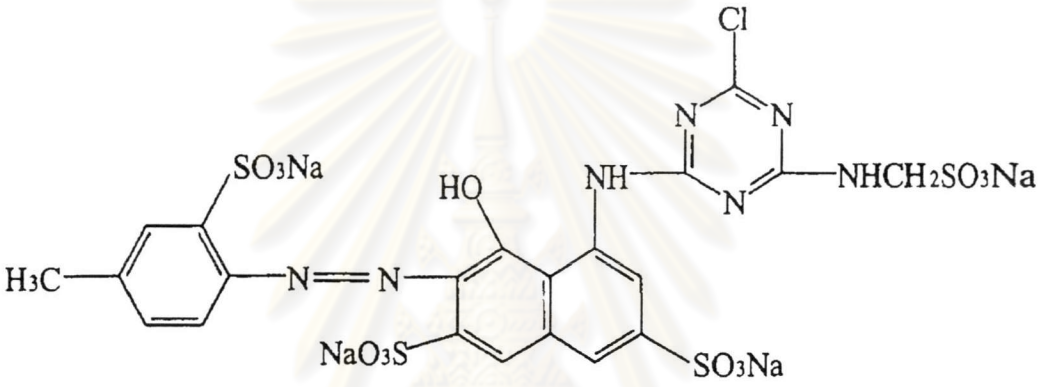
สีย้อมที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ สีแอซิด สีไดเร็กต์ และสีรีแอกทีฟ ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีหมู่เกลืออยู่ในโครงสร้างอย่างน้อย 1 หมู่ เกลือที่พบมากที่สุดได้แก่ เกลือของกรดซัลโฟนิก (Sulphonic acid) ซึ่งมักเติมเข้าไปในโครงสร้างของสารตัวกลาง (Intermediate) ระหว่างการผลิตสี นอกจากกรดซัลโฟนิกแล้ว กรดที่นิยมเติมในสารตัวกลางคือ กรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) สีย้อมที่ละลายน้ำได้เหล่านี้มักอยู่ในรูปของเกลือโซเดียม และเมื่อละลายน้ำโมเลกุลสีมีประจุลบ ตัวอย่างสีย้อม แสดงดังรูปที่ 2.2



C.I Acid Black 1



C.I Direct Red 10



C.I Reactive Red 189

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างโครงสร้างของสีย้อมแต่ละชนิด (R. D. Lillie., 1992)

2.5 แหล่งที่มาของน้ำเสียและสิ่งสกปรกจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542)

2.5.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมาจากแหล่งต่างๆ ที่สำคัญ คือ

1. น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการดำเนินการฟอกย้อม น้ำที่ใช้ส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้างในระหว่างขั้นตอนการผลิต แต่ส่วนใหญ่ถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้ยังแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้มีปริมาณไม่มากนัก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนค่อนข้างสูง

- น้ำที่ใช้ในการซักล้างภายหลังการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้มีปริมาณมาก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกโดยส่วนรวมต่ำกว่าน้ำเสียในประเภทแรก

2. น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ในกระบวนการฟอกย้อม มักมีการอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการและเป็นตัวให้ความร้อนในตู้อบไอน้ำ ถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำ น้ำสะอาดที่ได้สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งเข้าไปให้ความร้อนแก่สารละลายสีย้อมโดยตรง เป็นการเพิ่มปริมาตรของสารละลายสีย้อม และถูกรวมเป็นน้ำเสีย

3. น้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น ในกระบวนการฟอกย้อมโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของสารละลายสีย้อมลงในเวลาอันสั้น ซึ่งทำได้โดยการใช้น้ำหล่อเย็น น้ำหล่อเย็นนี้ส่วนใหญ่เป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้

4. น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน น้ำส่วนนี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม และในบางกรณีเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง เช่น น้ำล้างถังเตรียมสีย้อม เป็นต้น

5. น้ำจากแหล่งอื่น ๆ เช่น น้ำใช้ของคนงาน หรือน้ำฝน เป็นต้น

2.5.2 ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย

สิ่งสกปรกที่เจือปนในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อม จำแนกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

1. สีย้อม การย้อมเส้นใยมีการดูดซึมสีย้อมจากสารละลายสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้น สีย้อมที่เหลือคงอยู่ในสารละลายสีย้อมและถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียในที่สุด ปริมาณสีย้อมที่ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมแตกต่างไปตั้งแต่ร้อยละ 5-50 ขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมที่ใช้

2. สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมและการตกแต่งสำเร็จ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

- สารช่วยย้อม (Auxiliaries chemicals) ได้แก่ สารช่วยเปียก (Wetting agent) และสารช่วยการกระจายตัวของสี (Leveling agent)

- สารเคมีพื้นฐาน (Basic chemicals) เป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมโดยตรง ได้แก่ กรด ด่าง บัฟเฟอร์ เกลือ สารฟอกขาว และสารลอกแป้ง

- สารเคมีตกแต่งสำเร็จ ได้แก่ สารสะท้อนน้ำ สารกันเชื้อรา สารกันไฟ สารกันยับ ฯลฯ

3. สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติมีสิ่งสกปรกเจือปนสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ สิ่งสกปรกเจือปนประกอบด้วย สารขี้ผึ้ง ไขมัน โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่าง ๆ นอกจากนี้ ในกระบวนการผลิตมีการเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไปในเส้นใยด้วย เช่น สารหล่อลื่น และแป้งที่ใช้ในการลงแป้งเส้นด้ายยืน เป็นต้น สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้ถูกกำจัดออกจากเส้นใยในขั้นตอนการเตรียมผ้าก่อนการฟอกย้อม และหลุดติดมาในน้ำเสียจากขั้นตอนการเตรียมผ้า

2.6 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม (ชนิตา เสมรัตต์, 2543)

น้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมมีลักษณะที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1. มีปริมาณสารอินทรีย์สูง คือ มีค่าบีโอดีประมาณ 100 - 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าซีโอดี ประมาณ 500 – 1,200 มิลลิกรัม / ลิตร ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการย้อม ได้แก่ แป้ง สีย้อม กรดแอซีติก เส้นใย สบู่ ไขมัน ตัวทำละลายต่าง ๆ เป็นต้น

2. มีค่าพีเอชและค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) สูง คือ ค่าพีเอชประมาณ 9 – 12 และค่าความเป็นด่างประมาณ 300 – 900 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ซึ่งเกิดจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต เป็นต้น

3. มีความเข้มของสีสูง และอุณหภูมิสูงประมาณ 50 องศาเซลเซียส

4. มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (Dissolved solids) สูง ซึ่งเกิดจาก เกลือโซเดียม และกรดต่าง ๆ

5. มีโลหะหนักเจือปน โดยโลหะหนักเหล่านี้มาจากสีย้อมผ้า เช่น ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) และสังกะสี (Zn) เป็นต้น

6. มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solids) สูง ซึ่งมีผลทำให้ค่าบีโอดีและซีโอดีสูงขึ้นด้วย

2.7 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมที่มีต่อสิ่งแวดล้อม (ชนิตา เสมรัตต์, 2543)

1. สารอินทรีย์ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) ลดลง ซึ่งมีผลทำให้
   - สิ่งมีชีวิตในน้ำตายเนื่องจากขาดออกซิเจน
   - ทำให้แหล่งน้ำไม่สามารถทำความสะอาดด้วยตัวเอง (Self purification) ได้
   - ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นจากการเกิดปฏิกิริยาไม่ใช้ออกซิเจน
   - ทำให้ไม่สามารถใช้แหล่งน้ำนั้นทำประโยชน์ได้

สารอินทรีย์บางชนิดเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต มีผลทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ในกรณีที่ได้รับสารโดยตรงจากการบริโภคสัตว์นี้ นอกจากนี้สารพิษเหล่านี้ยังอาจสะสมอยู่ในระบบนิเวศในกรณีที่สารนั้นเป็นสารที่สลายตัวได้ยาก

2. ค่าความเป็นด่าง ทำให้น้ำเสียที่มีค่าพีเอชสูง เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรงแล้ว เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เพราะโดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตจะดำรงชีพอยู่ได้ในสภาวะที่เป็นกลาง คือในช่วงพีเอช 6 – 9

3. อุณหภูมิของน้ำเสียที่สูง มีผลทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง

4. ของแข็งที่ละลายน้ำ (Dissolved solids) อาจทำให้สัตว์น้ำเกิดโรคที่ร้ายแรงได้ และทำให้ไม่สามารถใช้น้ำให้เกิดประโยชน์ได้

5. สี (Color) ทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่ดีของแหล่งน้ำ และทำให้ปริมาณแสงที่ส่งผ่านลงสู่แหล่งน้ำลดลง ส่งผลให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง

6. โลหะหนัก (Heavy metals) ทำให้เกิดโรคที่ร้ายแรงในสัตว์น้ำ และยังสะสมอยู่ในระบบนิเวศ ทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ รวมทั้งมนุษย์ด้วย

7. ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solids) ทำให้สารอินทรีย์ในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อตกตะกอนลงทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำและทำลายทัศนีย์ภาพของแหล่งน้ำ

2.8 การบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542)

การบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีการลดปริมาณสารมลพิษที่ละลายหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำเสีย โดยการแยกหรือทำให้เกิดการสลายตัว ในการเลือกวิธีการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมจำเป็นที่ต้องทราบถึงลักษณะสมบัติและองค์ประกอบของสารมลพิษที่ถูกทิ้งออกจากโรงงานอุตสาหกรรม การบำบัดน้ำเสียในโรงงานฟอกย้อมโดยทั่วไป มีระบบบำบัด 2 ขั้นตอน ได้แก่

2.8.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น (Primary treatment)

การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น เป็นการแยกเอาตะกอนแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย เช่น เศษผ้า และเศษเส้นด้าย นอกจากนั้นยังเป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมก่อนเข้าสู่ระบบทุติยภูมิต่อไป ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ได้แก่

1. การกำจัดของแข็งแขวนลอยด้วยตะแกรง

ตะกอนแขวนลอยขนาดใหญ่ เช่น เศษผ้า เศษเส้นด้าย และเส้นใยต่างๆ การกำจัดของแข็งแขวนลอยเหล่านี้ส่วนใหญ่ใช้ตะแกรง (Screen) ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ ตะแกรงหยาบและตะแกรงละเอียด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การปรับสภาพสมดุล

โรงงานฟอกย้อมมีขั้นตอนการผลิตต่างๆ ซึ่งน้ำเสียที่ออกมาจากแต่ละกระบวนการมีลักษณะสมบัติแตกต่างกัน โดยทั่วไประบบบำบัดน้ำเสียทำงานได้ดีในสภาวะที่มีอัตราการไหลและความเข้มข้นของน้ำเสียสม่ำเสมอ เพราะฉะนั้นการปรับสภาพสมดุลเป็นระบบที่จำเป็น เพื่อทำให้อัตราการไหลและความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบสม่ำเสมอ นอกจากนี้ถังปรับสภาพที่ใช้ในโรงงานฟอกย้อม ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของน้ำเสียเพราะน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการฟอกย้อม มีอุณหภูมิส่วนใหญ่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส ทำให้ระบบทุติยภูมิที่เป็นระบบทางชีววิทยาทำงานได้ลดลง

3. การปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดหรือด่าง มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียในระบบชีวภาพ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับความเป็นกรดหรือด่างของน้ำเสียให้มีสภาวะเป็นกลาง ซึ่งมีความเหมาะสมในการบำบัดทางชีวภาพ โดยน้ำเสียจากการฟอกย้อมถูกส่งไปยังถังปรับพีเอช ซึ่งมีสารเคมีจำพวกกรดหรือด่าง ทำหน้าที่ปรับพีเอชของน้ำเสียให้เป็นกลาง

2.8.2 การบำบัดขั้นทุติยภูมิ (Secondary treatment)

ระบบบำบัดขั้นทุติยภูมิเป็นระบบบำบัดที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์ และตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย โดยมากเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้กระบวนการทางชีวภาพ หรือเป็นระบบบำบัดทางเคมีแล้วตามด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพ สำหรับระบบบำบัดที่เหมาะสมและนิยมใช้กันมาก ได้แก่ ระบบบ่อปรับเสถียร ระบบสระเติมอากาศ และระบบเอเอส

- ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization pond) เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียแบบอาศัยธรรมชาติ โดยใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ เกิดเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน จุลินทรีย์ในบ่อจะมีทั้งจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนและจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน

- ระบบสระเติมอากาศ (Aeration lagoon) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่จุลินทรีย์ในสระเติมอากาศใช้ออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศชนิดจักรกล แตกต่างจากระบบบ่อปรับเสถียรชนิดบ่อมีออกซิเจนที่ใช้ออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายเป็นหลัก

- ระบบเอเอส (Activated sludge) กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยอาศัยจุลินทรีย์จำนวนมากที่แขวนลอยอยู่ในถังอากาศ และต้องควบคุมความเข้มข้นของจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยการย้อนกลับตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนที่ตกตะกอนในถังตกตะกอนกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศ ซึ่งแตกต่างจากระบบสระเติมอากาศที่ไม่มีการย้อนตะกอนจุลินทรีย์กลับ ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินที่เกิดขึ้นถูกนำไปกำจัด เช่น ผ่านการย่อยสลายหรือนำไปตากแห้ง น้ำใสส่วนบนที่ไหลล้นออกจากถังตกตะกอนซึ่งได้มาตรฐาน สามารถระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้

ถึงแม้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียที่กล่าวข้างต้นสามารถลดสารอินทรีย์ได้ แต่ไม่สามารถกำจัดสีย้อมในน้ำได้หมด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการอื่นมาใช้ในการกำจัดสีย้อมได้แก่

การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical coagulation) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ ขั้นตอนการเติมสารก่อการจับก้อนเคมี (Coagulant) เช่น สารส้ม ปูนขาว เกลือของเหล็ก สารพอลิอิเล็กโทรไลต์ เป็นต้น ผสมในน้ำเสีย ขั้นตอนที่สอง คือ การกวนอย่างช้า ๆ เพื่อให้เกิดสภาพรวมตะกอน (Flocculation) ซึ่งได้มีการเกาะกันระหว่างตะกอนเล็ก ๆ กับสารสร้างตะกอนจนได้ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถตกตะกอนได้

คลอริเนชัน (Chlorination) เป็นวิธีการกำจัดสีโดยใช้คลอรีนเป็นสารออกซิไดซ์ (Oxidizing agent) ซึ่งมีอำนาจออกซิไดซิงสูงไปทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำทิ้ง ทำให้สีหายไปหรือลดปริมาณสีลง ปริมาณสีที่ลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ โดยคลอรีนที่ใช้อยู่ในรูปของแก๊สคลอรีน สารประกอบไฮโปคลอไรท์ และคลอรีนไดออกไซด์

โอโซเนชัน (Ozonation) เป็นการกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้โอโซน (O_3) เป็นสารออกซิไดซ์ไปทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำทิ้งเช่นเดียวกับการใช้คลอรีน แต่โอโซนมีความสามารถในการออกซิไดซ์สูงกว่าคลอรีนเกือบ 1 เท่า การผลิตโอโซนกระทำได้โดยผ่านอากาศแห้งหรือออกซิเจนบริสุทธิ์ไประหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วที่มีความต่างศักย์ประมาณ 15,000 - 20,000 โวลต์ อะตอมของออกซิเจนถูกบังคับให้จับตัวกันใหม่กลายเป็นโอโซน (O_3) อากาศแห้ง 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตโอโซนได้ไม่เกิน 30 กรัมหรือเท่ากับร้อยละ 1.4 โดยปริมาตร ถ้าใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์แทนอากาศแห้งอาจได้โอโซนเพิ่มเป็น 60-90 กรัม/ลูกบาศก์เมตร โอโซนสามารถทำให้เป็นของเหลวได้แต่นิยมใช้ในรูปแก๊สมากกว่า โอโซนเป็นแก๊สพิษที่ก่อให้เกิดความระคายเคืองอย่างรุนแรง

การใช้เมมเบรน (Membrane technology) เทคโนโลยีของการใช้เมมเบรนประกอบด้วยวิธีอัลตราฟิลเตรชัน และกระบวนการออสโมซิสผันกลับ วิธีอัลตราฟิลเตรชันมีหลักการทำงานของระบบ คือใช้เมมเบรนแบบรูพรุน พวกเซลลูโลสแอซีเทต หรือพอลิเมอร์สังเคราะห์ ต่างๆ และอัดน้ำเข้าไปด้วยแรงดันไม่เกิน 1,034 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร เมมเบรนทำหน้าที่แยกสารปนเปื้อนทั้งแบบละลายน้ำและตะกอนเล็กที่มีขนาด ตั้งแต่ 2×10^{-6} ถึง 1×10^{-2} มิลลิเมตร ได้ สำหรับกระบวนการออสโมซิสผันกลับ สามารถแยกสารปนเปื้อนที่มีขนาดตั้งแต่ 4×10^{-7} ถึง 6×10^{-5} มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าวิธีอัลตราฟิลเตรชัน นิยมใช้ในการแยกเกลือที่ละลายน้ำได้ โดยกรองผ่านเมมเบรนเลือกผ่าน (Semi permeable membrane) เมมเบรนที่นิยมใช้กันมากได้แก่ เซลลูโลสแอซีเทต และไนลอน วิธีที่นำมาใช้ปัจจุบันได้แก่ วิธีอัลตราฟิลเตรชัน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีในการนำวัสดุกลับมาใหม่

ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีวิธีหนึ่ง แต่ใช้กันน้อยมากในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม การบำบัดด้วยวิธีนี้มักถูกใช้เพื่อกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียอุตสาหกรรม ต่อมาได้มีการปรับปรุงเพื่อนำมากำจัด บีโอดี ซีโอดี สารแขวนลอย และสีในน้ำเสีย

การดูดซับ (Adsorption) เป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือแก๊สให้มาเกาะจับและติดบนผิวโมเลกุลหรือคอลลอยด์ เรียกว่าตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับเรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) และเรียกกลไกตั้งแต่มีโมเลกุลเคลื่อนที่ไปเกาะติดกับพื้นที่ของอีกสารหนึ่งว่า การดูดซับ (Adsorption) การเกาะจับโมเลกุลบนผิวของสาร อาจเกิดขึ้นด้วยแรงกายภาพ เช่น แรงแวนเดอร์วาล (van der Waals) หรือด้วยแรงทางเคมีหรือทั้งสองอย่างรวมกัน สารดูดซับ มีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

1. ประเภทสารอินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ถ่านกระดูก (Bone char) ซิลิกากัมมันต์ (Activated silica) ฯลฯ สารเหล่านี้มีพื้นที่ผิว 50 - 200 ตารางเมตร/กรัม

2. คาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon) มีพื้นที่ผิวมากกว่าสารอนินทรีย์อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ คือ 600 - 1,000 ตารางเมตร/กรัม จึงจัดแยกไว้จากสารอนินทรีย์ชนิดอื่น ๆ

3. สารอินทรีย์สังเคราะห์ เช่น เรซินแลกเปลี่ยนประจุ มีพื้นที่ผิว 300 - 500 ตารางเมตร/กรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยทั่วไปกระบวนการดูดซับในกระบวนการกำจัดสีและกลิ่นในน้ำประปา และกระบวนการกำจัดสีในน้ำเสียนิยมใช้คาร์บอนกัมมันต์ ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงทำให้มีความสามารถในการดูดซับสูงตามไปด้วย

2.9 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมกรณีศึกษา

2.9.1 ระบบบำบัดน้ำเสียของหสน.ธนไพศาล (ปิลันธน์ ธรรมมงคล, 2543)

น้ำเสียของโรงงานแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ น้ำเสียรวมจากโรงงานและน้ำสีเข้มข้นจากกระบวนการผลิต โดยน้ำเสียส่วนแรกทำการบำบัดด้วยระบบเอเอส แสดงดังรูปที่ 2.3 ดังนี้

1. น้ำเสียจากโรงงานไหลผ่านท่อระบายน้ำเข้าสู่ระบบบำบัด

2. น้ำเสียผ่านตะแกรงกรองหยาบ เพื่อแยกเอาเศษขยะ สิ่งสกปรกชิ้นใหญ่ๆ เช่น เศษผ้า เศษด้าย ถุงพลาสติก ออกจากน้ำเสีย

3. น้ำเสียไหลผ่านรางเพื่อเติมปุ๋ยยูเรียและกรดฟอสฟอริก ซึ่งเป็นการเติมสารอาหารให้กับแบคทีเรียในระบบบำบัด

4. น้ำเสียถูกสูบผ่าน Rotary screen filter ซึ่งเป็นตะแกรงกรองอย่างละเอียด สามารถกรองสิ่งสกปรกชิ้นเล็กๆ ที่แขวนลอยมากับน้ำได้

5. น้ำเสียไหลผ่านรางน้ำวน เพื่อปรับพีเอชด้วยกรดกำมะถัน ซึ่งรางน้ำด้านในมีหัววัดพีเอชจุ่มอยู่ในราง ทำการวัดค่าพีเอชเมื่อน้ำเสียไหลผ่านมา หากค่าพีเอชสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ ระบบควบคุมจะสั่งให้เครื่องสูบกรดกำมะถันลงมาผสมกับน้ำเสียจนมีค่าพีเอชตามที่กำหนด (พีเอช 7 - 8.5)

6. น้ำไหลมาเก็บในบ่อ Equalization (EQ) เนื่องจากสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมในแต่ละช่วงวันมีความแตกต่างกันมาก จึงจำเป็นต้องนำน้ำเหล่านี้มารวมกันไว้ เพื่อให้น้ำผสมรวมกัน และมีสมบัติใกล้เคียงกัน

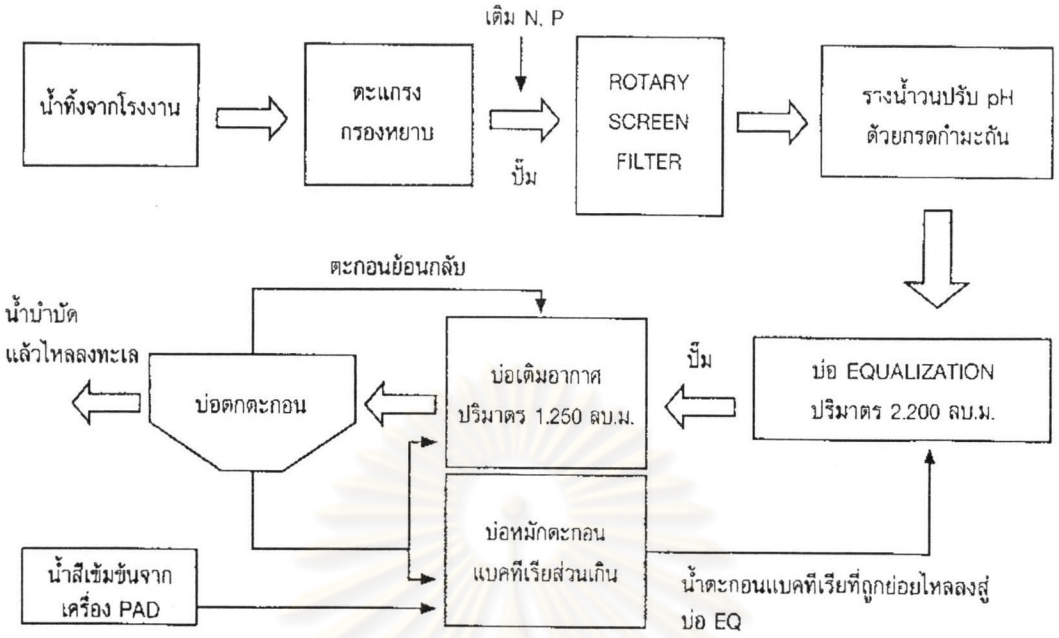
7. น้ำที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว ถูกสูบขึ้นมาที่บ่อเติมอากาศด้วยอัตราไหลคงที่ เครื่องเติมอากาศให้อากาศแก่แบคทีเรียในน้ำ เพื่อการเจริญเติบโตและย่อยสลายสิ่งสกปรกจากน้ำเสียให้เหลือน้อยที่สุด แบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในบ่อนี้เป็นแบคทีเรียชนิดใช้อากาศ (Aerobic bacteria)

8. น้ำไหลเวียนอยู่ในบ่อเติมอากาศประมาณ 2 วัน เพื่อให้แบคทีเรียย่อยสลายสิ่งสกปรก น้ำไหลเข้าสู่บ่อตกตะกอน เพื่อแยกเอาตะกอนแบคทีเรีย และน้ำที่บำบัดแล้วออกจากกัน

น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไหลล้นจากปากบ่อ ระบายสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ส่วนตะกอนแบคทีเรียที่ตกอยู่ก้นบ่อถูกกวาดมารวมกันแล้วส่งมาเก็บไว้ที่บ่อพักตะกอน ในบ่อมีปั๊มสูบตะกอนแบคทีเรียย้อนกลับมาที่บ่อเติมอากาศ เพื่อทำให้ปริมาณแบคทีเรียในบ่อเติมอากาศมีความหนาแน่นอยู่เสมอ หากปริมาณแบคทีเรียในบ่อเติมอากาศมีมากเกินไป ตะกอนแบคทีเรียถูกระบายจากบ่อพักตะกอนมาตากให้แห้งที่ลานตากตะกอน

สำหรับน้ำสีเข้มข้นถูกสูบมาเก็บที่บ่อหมักตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินแบบไร้อากาศ กล่าวคือ แทนที่ตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินถูกสูบไปตากที่ลานตากตะกอน แต่จะสูบมาหมักไว้ในบ่อหมักตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินแทน ในบ่อหมักตะกอนนี้มีแบคทีเรียชนิดไม่ใช้อากาศ (Anaerobic bacteria) ซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แบคทีเรียชนิดนี้สามารถเจริญเติบโตในสภาพไร้อากาศ ทำหน้าที่ย่อยสลายตะกอนแบคทีเรียส่วนเกิน ให้กลายเป็นแก๊สมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สเหล่านี้ถูกระบายออกทางปล่องหลังคา และแบคทีเรียทำการย่อยสิ่งสกปรก สี สารเคมีที่มีโมเลกุลยาวๆ ให้กลายเป็นโมเลกุลสั้น ตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินและน้ำสีเข้มข้นถูกหมักอยู่ในระบบนานประมาณ 35 วัน แล้วน้ำจากส่วนนี้ไหลลงสู่บ่อ EQ รวมกับน้ำเสียจากโรงงาน แล้วเข้าสู่ระบบเอเอสต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 ระบบบำบัดแบบเอเอสของหสน.ธนไพศาล (ปีลันธน์ ธรรมมงคล, 2543)

2.9.2 ระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทศิลปเสนีพาณิชย์ จำกัด (ศิลปเสนีพาณิชย์, 2547)

ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย แสดงดังรูปที่ 2.4 ดังนี้

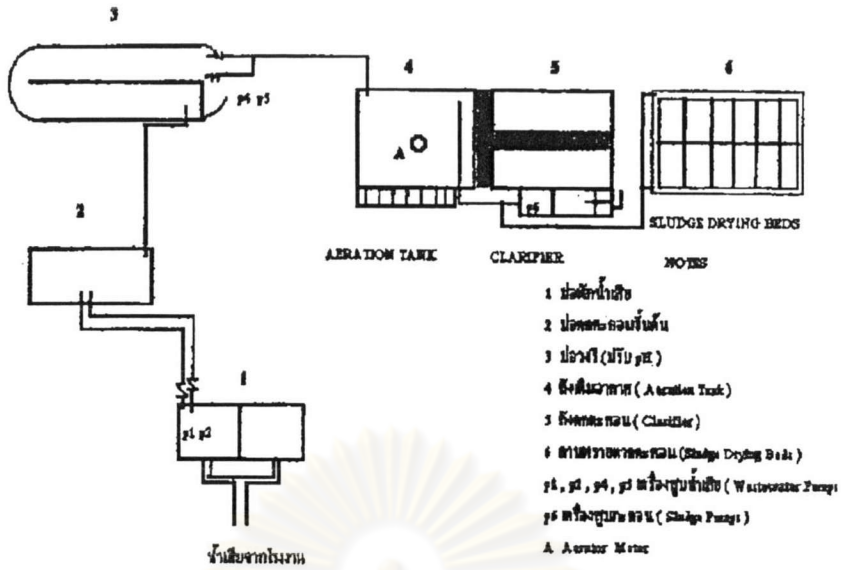
1. น้ำเสียจากโรงงานไหลผ่านท่อระบายน้ำเข้าสู่บ่อพักน้ำเสีย เพื่อปรับสภาพน้ำให้สมบัติใกล้เคียงกัน

2. น้ำเสียถูกสูบเข้าสู่บ่อตกตะกอนขั้นต้น ทำให้สิ่งสกปรกต่างๆ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ตกตะกอนลงมา

3. น้ำเสียไหลสู่บ่อปรับพีเอช เพื่อทำให้น้ำมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรีย จากนั้นน้ำที่ผ่านการปรับสภาพถูกสูบมาที่บ่อเติมอากาศ

4. น้ำไหลเข้าสู่บ่อตกตะกอน น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไหลล้นจากปากบ่อระบายสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ส่วนตะกอนแบคทีเรียที่ตกอยู่ก้นบ่อถูกสูบมาเก็บไว้ที่บ่อพักตะกอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 ระบบบำบัดแบบเอเอสของบริษัทศิลปเสนีพาณิชย์ จำกัด (ศิลปเสนีพาณิชย์, 2547)

2.9.3 ระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทเอเซียไฟเบอร์ จำกัด (เอเซียไฟเบอร์, 2547)

ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย คือ

1. เตรียมสารละลายของสารส้ม โดยใช้อัตราส่วนสารส้ม 150 กิโลกรัมต่อถังปริมาตร 800 ลิตร เติมน้ำตามระดับที่กำหนดไว้ แล้วกวนให้ละลายโดยการเป่าลม (อาจใช้สารละลายเฟอริกคลอไรด์หรือสารพอลิเมอร์ แล้วแต่กรณี)

2. สูบน้ำเสียจากบ่อปรับพีเอชไปยังถังผสมเคมี พร้อมกับไล่ลมออกทางวาล์วเปิดวาล์วถังผสมเคมี เข้าสู่ถังผสมอากาศ

4. น้ำเสียที่ผสมสารเคมีและอากาศแล้ว ไหลไปสู่ถังแยกตะกอน โดยตะกอนลอยขึ้นไปด้านบน แล้วถูกกวาดไปที่บ่อเก็บตะกอน ส่วนน้ำที่บำบัดแล้ว ไหลไปสู่บ่อเติมอากาศต่อไป

5. สูบตะกอนจากบ่อเก็บตะกอน ไปที่เครื่องอัดตะกอน เก็บตะกอนไว้ในถังที่มีฝาปิดและเคลื่อนย้ายไปที่โรงเก็บที่เหมาะสม

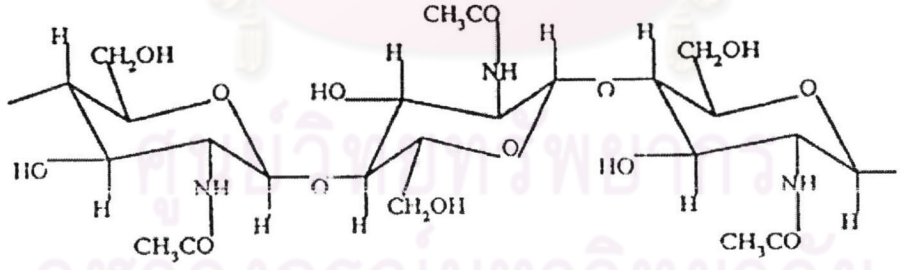
6. น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วถูกส่งไประบบบำบัดของนิคมอุตสาหกรรม

2.10 ไคโตซาน

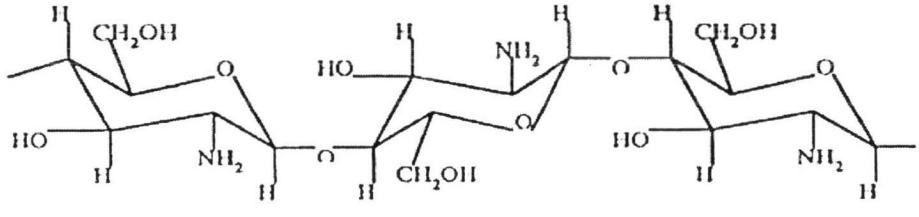
2.10.1 ลักษณะทั่วไปของไคโตซาน

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินมีชื่อทางเคมีว่า Poly-β-(1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose ซึ่งสามารถผลิตได้โดยการแยกหมู่แอซีทิลออก (Deacetylation) จากไคตินเหลือเป็นหมู่แอมิโนอิสระ (NH_2) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองดังแสดงในรูปที่ 2.5 (B) โดยทั่วไปถ้าหมู่แอซีทิลถูกตัดหรือหลุดไปประมาณร้อยละ 60 เรียกว่า ไคโตซาน และถ้าหมู่แอซีทิลถูกตัดหรือหลุดไปประมาณร้อยละ 90-100 เรียกว่า Fully deacetylated chitosan (Muzzarelli, 1985) ในทางทฤษฎีไคตินประกอบด้วยไนโตรเจนร้อยละ 6.89 และในไคโตซานร้อยละ 8.70 แต่ในทางปฏิบัติการแยกเอาหมู่แอซีทิลออกมักไม่สมบูรณ์ ดังนั้นปริมาณไนโตรเจนจึงไม่แน่นอน และอยู่ในช่วงร้อยละ 6.89-8.70 เมื่อพิจารณาสูตรโครงสร้างของไคโตซาน จะเห็นว่าไคโตซานสามารถมีประจุบวกบนหมู่แอมิโนและอาจพิจารณาว่าเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก (Cationic polymer) สมบัติพอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) ของไคโตซานมีสมบัติในการดูดซับสารจำพวกอินทรีย์ รวมถึง Polychlorinated biphenyls โปรตีน และ Nucleic acid รวมถึงไอออนโลหะ เนื่องจากสมบัติการดูดซับที่ดี ไคโตซานจึงทำหน้าที่เป็นสารก่อการจับก้อน (Coagulant) ได้ดี นอกจากนั้นมีสมบัติในการละลายในตัวทำละลายกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น สารละลายกรดฟอร์มิก สารละลายกรดแอซีติก เป็นต้น และละลายได้เล็กน้อยในกรดอนินทรีย์เจือจาง เช่น กรดเกลือ เป็นต้น จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้การใช้ประโยชน์จากไคโตซานมีสูงกว่าไคติน

(A)



(B)



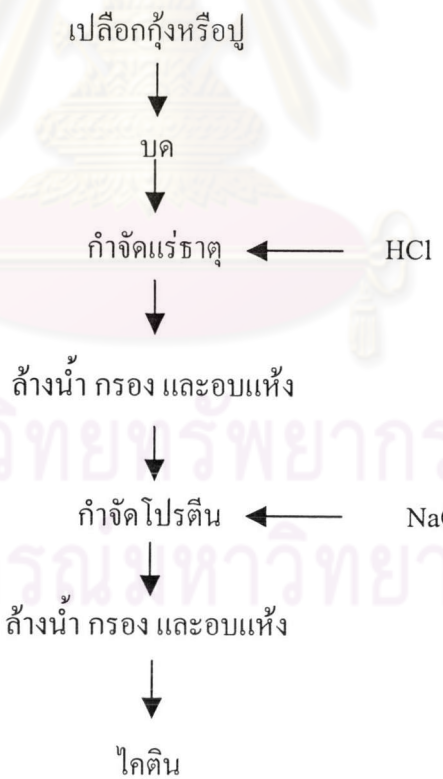
รูปที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของ (A) ไคติน (B) ไคโตซาน (รัดเกล้า, 2539)

2.10.2 กระบวนการเตรียมไคโตซาน

กระบวนการเตรียมไคโตซานแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเตรียมไคติน และขั้นตอนการเตรียมไคโตซาน

1. ขั้นตอนการเตรียมไคติน

การเตรียมไคตินขึ้นกับวัตถุดิบและสารประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบนั้น ส่วนใหญ่ผลิตจากเปลือกกุ้งและเปลือกปูที่เป็นของเหลือทิ้ง ซึ่งองค์ประกอบของวัตถุดิบเหล่านี้ ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนและแคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้มีพวกรงควัตถุต่างๆ โปรตีนสามารถแยกออกได้โดยการต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนตสามารถแยกออกได้โดยการต้มกับกรดไฮโดรคลอริก หรือกรดไนตริก การเตรียมไคตินแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนที่สำคัญ คือ ขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ (Demineralization) และขั้นตอนการกำจัดโปรตีน (Deproteinization) แสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมไคติน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบเพื่อแยกไคติน เริ่มจากการนำวัตถุดิบ ได้แก่ เปลือกกุ้ง กระดองปู ล้างน้ำ ในกรณีที่ต้องเก็บสะสมวัตถุดิบไว้ระยะหนึ่งก่อน นำเปลือกที่ล้างสะอาดแล้วไปต้มและล้างด้วย Antioxidant solution แล้วนำไปอบให้แห้ง เพื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องสะดวกต่อการขนส่ง หลังจากนั้นอาจมีการลดขนาด เช่น บดละเอียด

การกำจัดแร่ธาตุ

ขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุโดยการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจางเป็นตัวละลายแร่ธาตุ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเกลือแคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดซัลฟูรัส (H_2SO_3) ในการกำจัดแร่ธาตุสำหรับกระบวนการเตรียมไคตินในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งมีข้อได้เปรียบ คือ ลดปฏิกิริยาการสูญเสียสภาพธรรมชาติของไคตินเนื่องจากกรดซัลฟูรัสเป็นกรดอ่อน และสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก ตลอดจนได้ผลพลอยได้ เช่น แคลเซียมซัลไฟต์ ($CaSO_3$) แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งสามารถนำไปขายได้

การกำจัดโปรตีน

ขั้นตอนการกำจัดโปรตีนโดยการใช้สารละลายด่าง ส่วนมากนิยมใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดโปรตีน คือ 11.5 นอกจากนี้พบว่า การลดขนาดของวัตถุดิบมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการกำจัดโปรตีน นอกจากการใช้สารละลายด่างในการกำจัดโปรตีนแล้วยังมีการใช้เอนไซม์ในการกำจัดโปรตีนด้วย ซึ่งจะทำให้ความหนืดของสารละลายไคโตซานลดลง

2. ขั้นตอนการเตรียมไคโตซาน

การเตรียมไคโตซาน มีขั้นตอนหลักอยู่เพียงขั้นตอนเดียว คือ ขั้นตอนการกำจัดหมู่แอซีทิล (Deacetylation) ในไคตินด้วยสารละลายด่างร้อน แสดงได้ดังรูปที่ 2.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.7 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมไคโตซาน

2.10.3 สมบัติของไคตินและไคโตซาน

1. การละลาย (Solubility)

ไคตินเป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะกึ่งผลึก (Semi crystalline) เนื่องจากมีโครงสร้างที่จับกันโดยพันธะไฮโดรเจน ด้วยสมบัติทางกายภาพนี้ทำให้ไคตินยากต่อการละลายในกรดเจือจางหรือด่างเจือจางและตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ (Organic solvents) ภายใต้สภาวะปกติ ความยากในการละลายของไคตินในตัวทำละลายต่างๆ มีผลจากสายโซ่โมเลกุลที่อยู่กันหนาแน่น มีพันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน หมู่ไฮดรอกซิล และหมู่แอซีเทมิโด (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2543) อย่างไรก็ตามไคตินสามารถละลายในกรดฟอร์มิก มีเทน กรดซัลโฟนิก และส่วนผสมของ 1,2-dichloroethane และ Trichloroacetic (35:36) แต่พวกตัวทำละลายเหล่านี้ให้สารเป็นพิษ หรือทำให้สมบัติของไคตินเปลี่ยนแปลงไป การกำจัดหมู่แอซีทิลในสภาวะที่เป็นด่างเป็นการเปลี่ยนจากไคตินเป็นไคโตซาน จากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ทำให้โครงสร้างของไคโตซานมีหมู่แอมิโนอิสระ และมีความสามารถในการละลาย แต่โดยปกติไม่ละลายในน้ำที่มีค่าพีเอช 6.5 และในการเตรียมเป็นสารละลายสามารถเตรียมในสารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง ได้แก่ กรดฟอร์มิก และกรดแอซีติกได้ (Austin, 1988) ซึ่ง Knorr (1991) รายงานว่าตัวทำละลายที่ดีของไคโตซาน คือสารละลายกรดฟอร์มิกความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 0.2 - 100 โดยปริมาตร นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถละลายได้ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง สารละลายกรดไนตริกเจือจาง และละลายได้เล็กน้อยในสารละลายกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร เนื่องจากสารละลายกรดเหล่านี้ทำให้หมู่แอมิโนอิสระเปลี่ยนอยู่ในรูปหมู่เอมีนที่มีประจุบวก (Cationic amine group, $-NH_3^+$) แต่ไม่ละลายใน

ตัวทำละลายที่เป็นกลางหรือด่าง แต่ถ้านำไคโตซานมาบดแห้งกับกรดอินทรีย์ได้ไคโตซานที่สามารถละลายน้ำได้ (Water – soluble chitosan) (Kupongsak, 1995)

2. ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการกำจัดหมู่แอซีทิล น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น ค่าพีเอช และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แล้วแต่ชนิดของกรดที่ใช้ และการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของสารละลายพอลิเมอร์ให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดแอซีติกเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่าพีเอชลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น

3. สมบัติพอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte properties)

ไคโตซานเป็นสายพอลิเมอร์ของ Anhydroglucosamine และเป็นสายพอลิอิเล็กโทรไลต์ ที่สภาวะเป็นกรด มีค่าพีเอชเท่ากับ 6.5 ไคโตซานในสารละลายมีประจุเป็นบวก (Positive charge) เนื่องจากไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ จึงมีความหนาแน่นของประจุบวกสูง ซึ่งในอุตสาหกรรมปัจจุบัน พวกไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) โมเลกุลสูง หรือพวกพอลิแซ็กคาไรด์ส่วนใหญ่จะไม่มีประจุหรือมีประจุเป็นลบ (Polyanionic) แต่ไคโตซานเป็นหนึ่งในพวกสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวก (Cationic polyelectrolyte) จึงมีศักยภาพในการนำไปใช้ได้มากกว่า ประจุบวกของไคโตซานจึงจับอย่างแน่นกับผิวของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดความเป็นกลาง ดังนั้นการจับของไคโตซานกับเซลล์สิ่งมีชีวิตเป็นสมบัติที่สำคัญมากในการนำไปใช้ในด้านการแพทย์ (Hon, 1996)

4. น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)

ความยาวของสายโซ่โมเลกุลมีความสำคัญในการพิจารณาสมบัติของพอลิเมอร์ ซึ่งพอลิเมอร์ทั่วไปมีขนาดใหญ่แต่ไม่จำเป็นต้องมีความยาวเท่ากัน การนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์ต่างๆ มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล ระดับการกำจัดหมู่แอซีทิล ซึ่งมีผลต่อกลไกการทำงาน และสมบัติทางเคมี เมื่อใช้ไคโตซานในการผลิตฟิล์ม การผลิตเมมเบรน และเส้นใยต่างๆ น้ำหนักโมเลกุลสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของไคตินคือ 1.03×10^6 ถึง 2.5×10^6 ดอลตัน และน้ำหนักโมเลกุลของคาร์บอกซีเมทิลไคติน

(Carboxymethyl chitin) ประมาณ 1.33×10^6 ดอลตัน (Muzzarelli, 1977) โดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักของ Fully deacetylation chitosan ที่สกัดได้จากกุ้งมีค่าประมาณ 440,000 ± 50,000 กรัม/โมล และของปู มีค่าประมาณ 500,000 - 850,000 กรัม/โมล (เยาวภา, 2534)

5. ระดับการกำจัดหมู่แอซีทิล (Degree of Deacetylation)

การใช้ประโยชน์จากไคโตซานมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ ระดับการกำจัดหมู่แอซีทิล ซึ่งเป็นตัวบอกถึงคุณภาพของไคโตซาน ดังนั้นจึงมีการวัดระดับแอซีทิลของไคโตซานเพื่อพิจารณาถึงการใช้งาน ซึ่งการวิเคราะห์มีหลายวิธี ได้แก่ Infrared spectroscopy (IR), Circular dichroism (CD), Elemental analysis (EA), Titration และ First derivation ultraviolet spectroscopy ลักษณะของ IR ยากในการวิเคราะห์ และผลที่ได้มีแนวโน้มที่คลาดเคลื่อน การศึกษาแบบ CD มีข้อจำกัดในการละลายของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงไม่สามารถวิเคราะห์พวกที่ไม่ละลาย และพวก Highly acetylated polymeric compound ได้ วิธี Titration มีความยุ่งยาก และใช้เวลานาน และผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดย EA ไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญ โดยเฉพาะถ้ามีการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ข้างเคียง แต่วิธีนี้ใช้ในการหาไคโตซานซึ่งเป็นพอลิเมอร์ร่วมของ glucosamine/N-acetylglucosamine ส่วนการตรวจสอบพวกกลุ่มแอมิโนอิสระโดยการใช้ Fluoresence มีการตอบสนองเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคซามีนแบบไม่เป็นเส้นตรง และการวัดตัวอย่างอาจมีการเจือจางขึ้นอยู่กับค่าที่ต้องการวัด (Miyoshi et al., 1992)

2.11 การดูดซับ (Adsorption)

มีผู้ให้คำนิยามของการดูดซับไว้มากมาย เช่น

การดูดซับเป็นการสะสมสารหรือวัสดุที่พื้นผิวระหว่างของแข็ง และของเหลว รวมถึงการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกละลายออกจากสารละลายไปอยู่บนผิวของของแข็ง แต่ไม่รวมถึงกระบวนการตกตะกอนที่พื้นผิว (Surface precipitation process) หรือกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization process) ซึ่งหากไม่สามารถระบุให้ชัดเจนว่ากลไกที่ทำให้ความเข้มข้นของสารหรือวัสดุในสารละลาย ตัวทำละลาย หรือพื้นผิวของแข็งลดลงไปนั้นเกิดจากการดูดซับ หรือการตกตะกอนที่พื้นผิว หรือกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน หรือกระบวนการอื่นๆ ที่เกิดขึ้นที่ผิวแล้ว โดยทั่วไปใช้คำว่า Sorption (Danals, 1995)

การดูดซับเป็นกระบวนการถ่ายเทมวลของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) จากสถานะที่เป็นของเหลวไปยังสถานะที่เป็นของแข็งคือ ตัวดูดซับ (Adsorbent) ทำให้เกิดการสะสมของตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงผลักดัน (Driving force) หลัก 2 ชนิด คือ ความสามารถในการละลายของตัวถูกละลาย และความชอบหรือความดึงดูด (Affinity) ของตัวดูดซับที่มีต่อตัวถูกดูดซับ (วินัย, 2541)

พื้นที่ผิวของของแข็งที่สัมผัสกับสารละลาย และมีแนวโน้มเกิดการสะสมโมเลกุลของตัวถูกละลายในสารละลายที่ผิว เนื่องมาจากความไม่สมดุลของแรงที่ผิว (Surface force) เรียกว่าการดูดซับ (Eckenfelder, 1996)

2.11.1 กลไกการดูดซับ (Noll et al., 1992 และ Faust et al., 1987)

กลไกการดูดซับที่เกิดขึ้นในระหว่างการดูดซับ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 Bulk transport เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกดูดซับในของเหลวถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ ที่หุ้มอยู่ที่ผิวของสารดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 Film transport เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ แพร่ไปที่ผิวหน้าของสารดูดซับ ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์ม (Film diffusion) จัดเป็นขั้นตอนจำกัดอัตราการดูดซับที่ผิวขั้นตอนหนึ่ง

ขั้นตอนที่ 3 Intraparticle transport เป็นการแพร่ของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับที่อยู่ที่ผิวหน้าของสารดูดซับเข้าสู่รูพรุนของสารดูดซับ (Pore diffusion) และ ทำให้เกิดการดูดซับภายในซึ่งขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนจำกัดอัตราการดูดซับเช่นกัน

2.11.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ (Said et al., 1993 และ Solmaz et al., 2000)

1. ความปั่นป่วน (Turbulence)

อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับการแพร่ผ่านชั้นฟิล์ม หรือแพร่ผ่านรูพรุน (Pore diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับมีความหนามาก (เพราะไม่ถูกรบกวน) และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไป

หาตัวดูดซับทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มน้ำเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ทำให้น้ำไม่อาจสะสมตัวจนเป็นฟิล์มหนา เป็นผลให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าไปหาตัวดูดซับได้เร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในโพรง กรณีนี้การแพร่ผ่าน รูพรุนเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2. ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของตัวดูดซับ คือ ขนาด และพื้นที่ผิว ขนาดของตัวดูดซับมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการดูดซับ กล่าวคืออัตราเร็วการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ ดังนั้นตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กจึงมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าขนาดใหญ่ ส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity) นั่นคือ ตัวดูดซับที่มีพื้นผิวมากย่อมดูดโมเลกุลตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย

3. ค่าพีเอช

ค่าพีเอชมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) เนื่องจากที่ค่าพีเอชต่ำๆ มีปริมาณไฮโดรเนียมไอออนมากกว่าที่ค่าพีเอชสูง ซึ่งมีผลต่อค่าการดูดซับหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวถูกดูดซับ และตัวดูดซับ กล่าวคือในกรณีที่ตัวถูกดูดซับมีประจุเป็นบวก และตัวดูดซับมีตำแหน่งดูดซับที่มีประจุเป็นลบ ถ้าสารละลายมีค่าพีเอชต่ำ ทำให้ความสามารถในการดูดซับมีแนวโน้มลดลง เนื่องมาจากการแย่งถูกดูดซับของตัวถูกดูดซับที่มีประจุบวกกับไฮโดรเนียมไอออนในสารละลาย แต่จะได้ผลในทางตรงกันข้ามกัน เมื่อการดูดซับอยู่ในสารละลายที่มีค่าพีเอชสูง เนื่องจากไฮโดรเนียมไอออนมีปริมาณน้อยลง และปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เพิ่มขึ้น จึงลดผลในการเข้าแย่งจับหรือดูดซับกับตัวถูกดูดซับ และในกรณีที่ตัวถูกดูดซับมีประจุเป็นลบ ให้ผลตรงกันข้ามในทำนองเดียวกัน

4. อุณหภูมิ

ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับขึ้นอยู่กับว่าการดูดซับในระบบเป็นประเภทใด คือ ถ้าเป็นการดูดซับทางกายภาพ อุณหภูมิทำให้ความสามารถในการดูดซับเปลี่ยนแปลงไปในทางน้อยลงหรือคงที่ ถ้าเป็นการดูดซับทางเคมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการ

ดูดซับเพิ่มขึ้นไปด้วยเนื่องจากอิทธิพลของความร้อนช่วยเร่งการสร้างพันธะเคมีให้เร็วขึ้น และเพิ่มโอกาสที่ตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่เข้าสัมผัสกับตำแหน่งดูดซับของตัวดูดซับได้มากขึ้น

5. ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับต่อการดูดซับ

เมื่อเกิดการดูดซับขึ้นโมเลกุลตัวถูกดูดซับถูกดึงดูดออกจากน้ำก่อนแล้วไปเกาะติดบนผิวของของแข็ง สารที่มีความสามารถละลายน้ำได้ดีย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่นมากกว่าสารที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยกว่า จึงทำให้ยากต่อการดูดซับมากกว่าสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยกว่า แต่ไม่ได้เป็นจริงเสมอไป ทั้งนี้เพราะมีสารที่ละลายน้ำได้น้อยหลายชนิด เกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ยาก ด้วยเหตุนี้จึงไม่อาจกล่าวได้อย่างเต็มที่ว่า ความสามารถในการดูดซับ และความสามารถในการละลายน้ำมีความสัมพันธ์กันอย่างแน่นอนในเชิงปริมาณ

6. ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ

ขนาดของสารหรือโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ มีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการดูดซับ เมื่อน้ำหนักโมเลกุล และขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น เช่นการดูดซับกรดอินทรีย์โดยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์ดูดซับ กรดฟอร์มิก กรดแอซีติก กรดโพรพิออนิก และกรดบิวเทอริก ได้มากขึ้นตามลำดับของขนาดโมเลกุลที่เพิ่มขึ้น (Solmaz et al., 2000 และ Sharma et al., 1993) นอกจากนี้ขนาดโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลต่อการละลายด้วย โดยสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างที่ยาวมักมีความสามารถในการละลายน้ำได้ลดลงจึงส่งผลทำให้เกิดการดูดซับโดยตัวดูดซับมากขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้น แต่ในกรณีที่ตัวดูดซับมีรูพรุนมาก สารที่มีโมเลกุลเล็กกว่ารูพรุนมักถูกดูดซับได้ดีมากกว่าสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เนื่องจากสารโมเลกุลขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้ารูพรุนได้ และพื้นที่ผิวภายนอกที่ดูดซับมีอยู่น้อย เนื่องจากพื้นผิวภายนอกเป็นรูพรุน

การศึกษาขั้นกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับ เป็นการศึกษาหาขั้นตอนที่ปฏิกิริยาเกิดช้าที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วกระบวนการดูดซับจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกเป็น Bulk transport ซึ่งเป็นขั้นตอนที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ในเนื้อสารละลายที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ดังนั้นเมื่อมีการกวนสารละลายหรือให้ความเร็วแก่ระบบ ทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลตัวถูกดูดซับเกิดเร็วขึ้น ส่งผลให้ขั้นตอน Bulk transport ไม่ใช่ขั้นกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นในงานวิจัยส่วนใหญ่มักทำการศึกษากลไก

การเคลื่อนย้ายมวลในขั้น Film transport และ Intraparticle diffusion (รายละเอียดในหัวข้อ 2.11.1) เพื่อให้ทราบว่ามีขั้นตอนใดเป็นขั้นกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับ ควรสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวถูกดูดซับถูกดูดซับบนตัวดูดซับต่อหนึ่งหน่วยตัวดูดซับกับรากที่สองของเวลา โดยเลือกช่วงเวลาที่ความชันของกราฟต่ำสุดมาทำการศึกษาขั้นกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยา

2.12 ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm) (Faust และ Aly, 1987)

การดูดซับด้วยของแข็งที่เกิดขึ้นในสารละลาย สัมพันธ์กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนผิวของของแข็ง เมื่อกระบวนการดูดซับดำเนินเรื่อยๆ มีการคายการดูดซับ (Desorption) เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน จนในที่สุดจำนวนตัวถูกดูดซับกับที่คายออกมาเท่ากันหรือระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล เรียกว่า สมดุลของการดูดซับ (Adsorption equilibrium) ที่สภาวะสมดุลของการดูดซับความเข้มข้นของตัวดูดซับบนผิวของของแข็งไม่เปลี่ยนแปลง สภาวะที่เกิดสมดุลของการดูดซับหนึ่งๆ เป็นสมบัติจำเพาะของระบบนั้นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวถูกดูดซับ ตัวดูดซับ อุณหภูมิ และค่าพีเอช ปริมาณของการดูดซับที่สมดุลเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปใช้ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นตัวแทนในการอธิบายความสมดุลที่เกิดขึ้น

ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นเส้นที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารหรือไอออนที่ถูกดูดซับไว้ต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ (q_e; มิลลิกรัม/กรัม) กับความเข้มข้นของสารหรือไอออนที่เหลืออยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่หนึ่งๆ (C_e; มิลลิกรัม/กรัม)

สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอม

โดยทั่วไปสมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับมีหลายชนิด เนื่องจากมีหลายทฤษฎีได้ถูกนำมาอธิบายสมดุลของการดูดซับที่เกิดขึ้น แต่ที่นิยมใช้งานมากในการศึกษาที่เกี่ยวกับการดูดซับคือ สมการแลงเมียร์ และสมการฟรุนดลิช

1. สมการแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm)

สมมติฐานของสมการแลงเมียร์ คือ

1. การดูดซับเกิดบนพื้นผิวที่มีพื้นที่ในการดูดซับที่แน่นอนและพื้นที่นั้นๆ สามารถดูดซับโมเลกุลได้เพียงชั้นเดียว (Monolayer)

2. การดูดซับสามารถย้อนกลับได้

3. ไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนตำแหน่งของไอออนหรือโมเลกุลที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

4. พลังงานในการดูดซับเท่ากันในทุกๆ พื้นที่ของการดูดซับ และไม่เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างไอออน หรือโมเลกุลที่ถูกดูดซับ

สมการแลงเมียร์สามารถแสดงได้ด้วยสมการ (2.1)

$$q_e = X_m b C_e / (1+bC_e) \qquad (2.1)$$

เมื่อ q_e = ปริมาณของโลหะที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (มก. /ก.)

X_m = ปริมาณสูงสุดของตัวถูกดูดซับที่สามารถถูกดูดซับแบบชั้นเดียวต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (มก. /ก.)

b = ค่าคงที่ของการดูดซับ

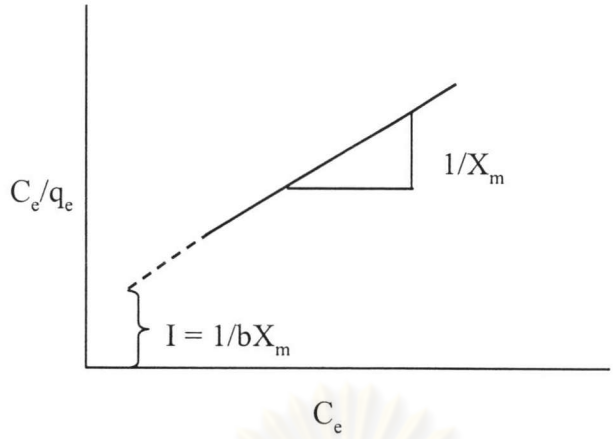
C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเมื่ออยู่ในสภาวะสมดุล (มก. /ล.)

จากสมการ (2.1) สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรงตามสมการ (2.2)

$$C_e/q_e = (1/bX_m) + (C_e/X_m) \qquad (2.2)$$

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ โดยให้ C_e/q_e เป็นแกน y และ C_e เป็นแกน x ได้ค่าความชันเท่ากับ $1/X_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/bX_m$ แสดงได้ดังรูปที่ 2.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8 ลักษณะของ Langmuir adsorption isotherm (Sunstorm, 1997)

2. สมการฟรุนดลิช (Freundlich adsorption isotherm)

สมการฟรุนดลิช เป็นสมการการดูดซับที่ได้จากการทดลอง ซึ่งอธิบายถึงการลดลงของพลังงานในการดูดซับเมื่อการปกคลุมผิวของตัวดูดซับเพิ่มขึ้นในรูปของลอการิทึม (Logarithmic) สามารถแสดงได้ด้วยสมการ (2.3)

$$q_e = KC_e^{1/n} \tag{2.3}$$

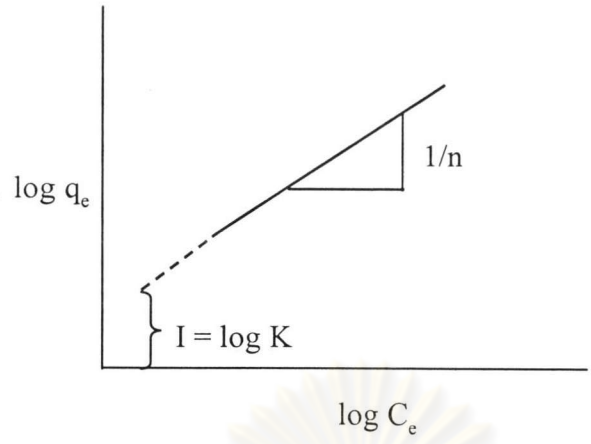
โดย K = สัมประสิทธิ์ของการแพร่กระจาย

n = correcting factor

จากสมการที่ (2.3) สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงได้ดังสมการ (2.4)

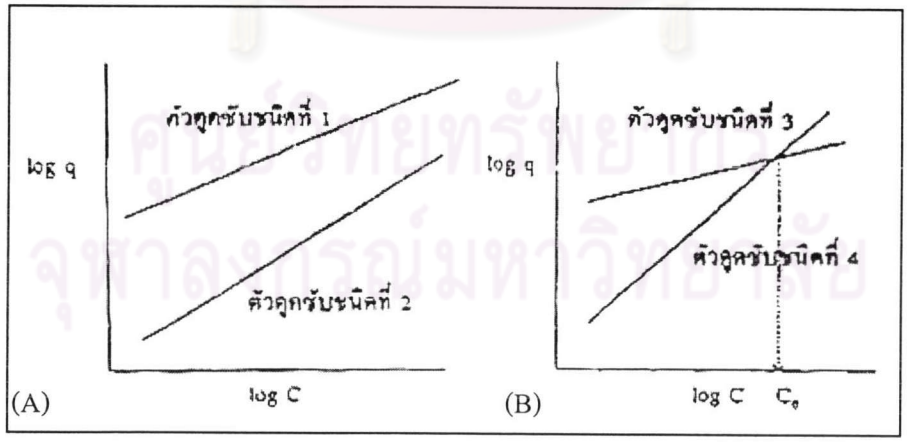
$$\log q_e = \log K + (1/n) \log C_e \tag{2.4}$$

เมื่อนำค่า $\log q_e$ กับ $\log C_e$ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ โดยให้ $\log q_e$ เป็นแกน y $\log C_e$ เป็นแกน x ได้กราฟเส้นตรงมีค่าความชันเท่ากับ 1/n และ จุดตัดแกน y เท่ากับ $\log K$ แสดงดังรูปที่ 2.9 เมื่อ 1/n มีค่าเข้าใกล้ 1 หรือมีความชันมาก แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเพียงเล็กน้อยมีผลต่ออัตราการดูดซับมาก คือ เมื่อความเข้มข้นต่ำอัตราการดูดซับต่ำ และเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่เมื่อ $1/n << 1$ หรือความชันต่ำมากจนบางครั้งเกือบขนานกับแกน x นั้นแสดงว่า อัตราการดูดซับเมื่อความเข้มข้นต่ำ หรือสูงไม่แตกต่างกันนัก



รูปที่ 2.9 ลักษณะของ Freudlich adsorption isotherm (Sunstorm, 1997)

สมการฟรุนดลิชใช้ได้ดีในสารละลายที่มีความเข้มข้นปานกลาง ในการพิจารณาเลือกว่าตัวดูดซับใดมีประสิทธิภาพในการบำบัดมากกว่ากัน สามารถพิจารณาจากค่าไอโซเทอมได้ ดังรูปที่ 2.10 (A) เห็นได้ว่าไอโซเทอมของตัวดูดซับชนิดที่ 1 สูงกว่าตัวดูดซับชนิดที่ 2 ในช่วงความเข้มข้นเดียวกัน ส่วนในรูปที่ 2.10 (B) ตัวดูดซับชนิดที่ 3 มีไอโซเทอมสูงกว่าตัวดูดซับชนิดที่ 4 ในช่วงความเข้มข้นที่ต่ำกว่า C_o แต่ตัวดูดซับชนิดที่ 4 จะมีไอโซเทอมที่สูงกว่าชนิดที่ 3 ในช่วงความเข้มข้นที่สูงกว่า C_o ดังนั้นจึงต้องเลือกตัวดูดซับให้เหมาะกับช่วงความเข้มข้นที่ต้องการ นอกจากนี้ ในรูปที่ 2.10 (B) ตัวดูดซับชนิดที่ 4 มีความชันมากกว่าชนิดที่ 3 แสดงว่าถ้าต้องการบำบัดต่อเนื่อง (Continuous flow) แล้วตัวดูดซับชนิดที่ 4 มีความเหมาะสมในการนำไปใช้มากกว่าชนิดที่ 3



รูปที่ 2.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของตัวดูดซับชนิดต่างๆ โดยพิจารณาจากรูปแบบ Freudlich adsorption isotherm (Sunstorm, 1997)

2.13 จุลินทรีย์ที่บำบัดสีย้อม

การบำบัดสีย้อมในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมโดยวิธีทางชีวภาพ โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ได้แก่ เชื้อรา แบคทีเรีย และสาหร่าย หากพิจารณาในกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อรา เชื้อราที่นิยมใช้มากที่สุด ได้แก่ เชื้อราขาว (White rot fungi) เชื้อราชนิดนี้ย่อยสลายลิกนินในเนื้อไม้ให้เป็นสีขาวที่สามารถพบได้ทั่วไปตามพื้นดินในป่า เชื้อราขาวที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีได้แก่ *Phanerochaete chrysosporium, Pycnoporus cinnabarinus,Pleurotus ostreatus* และ *Trameters versicolor* กลุ่มสาหร่ายได้แก่ *Chlorella* และ *Oscillatoria* และกลุ่มแบคทีเรียแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างแบคทีเรียที่สามารถลดสีย้อมได้ (Banat I.M, 1996)

แบคทีเรีย	สีย้อม	ร้อยละการกำจัด/เวลา	กลไก
Aeromonas hydrophila var 24B	Various azo dyes (0.2 mmol/l)	40 -100 % (24 h)	azoreductase
Bacillus subtilis IFO 13719	2-carboxy 4′ dimethylamonobenzene (0.045 mmole)	100 % (20 min)	azoreductase (in growing cells)
Bacillus subtilis IFO 3002	p- aminoazobenzene (30 mg/l)	80-90 % (30 h)	azoreductase
Klebsiella pneumoniae RS-13	Methyl Red (MR) (100 mg/l)	100 % (24 h)	azoreductase
Pseudomonas cepacia 13 NA	C.I.Acid Orange 12 (10 mg/l) C.I.Acid Orange 20 (10 mg/l) C.I.Acid Red 88 (37 mg/l)	65 % (8 h) 87 % (8 h) 94 % (8 h)	azoreductase azoreductase azoreductase

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างแบคทีเรียที่สามารถลดสีย้อมได้ (Banat I.M, 1996) (ต่อ)

แบคทีเรีย	สีย้อม	ร้อยละการกำจัด/เวลา	กลไก
Pseudomonas cepacia 13 NA	Orange I (0.045 mmol)	90 % (10 h)	azoreductase (cell extract and growing cell
Pseudomonas luteola	Red G (100 mg/l)	37.4 % (2 days)	azoreductase

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.14.1 ปฏิกิริยาการดูดซับสีย้อมของไคโตซาน

ปฏิกิริยาการดูดซับสีย้อมของไคโตซานเกิดขึ้น โดยอาศัยแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) ของหมู่ซัลโฟเนต (SO^-_3) ของสีย้อมกับหมู่แอมิโน (NH^+_3) ของไคโตซานที่ถูกโปรโตเนต (Protonated) (Wong et al, 2003) แสดงดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

เกิดการแตกตัวของสีย้อม ($D\text{-}SO_3Na$) ในน้ำ

$$D\text{-}SO_3Na \xrightarrow{H_2O} D\text{-}SO^-_3 + Na^+$$

ในสภาวะที่เป็นกรด (H^+) หมู่แอมิโนของไคโตซาน ($R\text{-}NH_2$) ถูกโปรโตเนต

$$R\text{-}NH_2 + H^+ \rightleftharpoons R\text{-}NH^+_3$$

$$R\text{-}NH^+_3 + D\text{-}SO^-_3 \rightleftharpoons R\text{-}NH_3O_3S\text{-}D$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.14.2 การบำบัดสีย้อมจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม

Juang et al. (1997) ศึกษาความสามารถในการใช้ไคโตซานบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟประเภทไวนิลซัลโฟน (Vinyl sulfone) และคลอโรไตรแอซีน (Chlorotriazine) ออกจากสารละลายจากการทดลองแสดงให้เห็นถึง ผลของความเข้มข้นของสีย้อม ปริมาณ และขนาดอนุภาคของไคโตซาน โดยทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ คือ ไคโตซาน ไคตินและผงถ่านกัมมันต์ พบว่า ไคโตซานมีประสิทธิภาพการดูดซับสีรีแอกทีฟ 3 ชนิด คือ Sumifix Super Scarlet 2 GF (Reactive Red 222), Sumifix Super Yellow 3 RF (Reactive Yellow 145) และ Sumifix Super Navy Blue BF (Reactive Blue 222) สูงที่สุด ข้อมูลที่สภาวะสมดุลสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ Redlich – Peterson ตลอดช่วงความเข้มข้นที่ศึกษาเท่ากับ 50 – 500 กรัม/ลูกบาศก์เมตร และความสามารถในดูดซับสีย้อมลดลงเมื่อขนาดของอนุภาคโตซานเพิ่มขึ้น

Bhavani et al. (1999) ศึกษาการใช้ไคโตซานเป็นตัวดูดซับสีย้อมจากโรงงานฟอกย้อม โดยศึกษาสี 3 ชนิด คือ Direct Jacophix T – Blue (DJTB), Reactive T – Blue (RTB) และ Direct Inchromine Brown – 2G (DIB – 2G) จากการทดลองพบว่าความสามารถในการดูดซับสีย้อมขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและพีเอชของสารละลายสีย้อม ที่ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 1 มล./100 มล. ไคโตซานสามารถบำบัด DJTB ได้ร้อยละ 92 เมื่อให้ระยะเวลาการดูดซับเท่ากับ 4 ชั่วโมง สามารถบำบัด RTB และ DIB – 2G ได้ ร้อยละ 90 และ 95 ตามลำดับเมื่อให้ระยะเวลาการดูดซับ เท่ากับ 5 ชั่วโมง นอกจากนี้ในการทดสอบกับสารละลายสี DJTB พบว่าข้อมูลที่สภาวะสมดุล ณ ความเข้มข้นต่างๆ สามารถอธิบายได้ดีด้วยสมการแลงเมียร์ และสมการฟรุนดลิช

จินตนา ชำนัญมนูญธรรม (2542) ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อม 4 ชนิด ได้แก่ สีแอซิด สีรีแอกทีฟ สีเบสิก และสีไดเร็กต์ บนตัวดูดซับ 3 ชนิด คือ เปลือกกุ้ง ไคติน ไคโตซาน พบว่าตัวดูดซับทุกชนิดสามารถดูดซับสีแอซิด สีรีแอกทีฟ และสีไดเร็กต์ได้ดีในสารละลายกรดที่มีค่าพีเอช เท่ากับ 5 หรือต่ำกว่า โดยไคโตซานดูดซับสีย้อมดังกล่าวได้ในปริมาณที่สูงกว่าไคตินและเปลือกกุ้ง ตรงข้ามกับสีเบสิกถูกดูดซับได้ดีในสารละลายด่าง ที่มีค่าพีเอช เท่ากับ 10 หรือสูงกว่า โดยเปลือกกุ้งดูดซับสีเบสิกได้ในปริมาณที่สูงกว่าไคตินและไคโตซานมาก ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับและความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเพิ่มขึ้น แต่ลดลงเมื่ออนุภาคของตัวดูดซับมีขนาดเพิ่มขึ้น ปริมาณของสีทุกชนิดที่ถูกดูดซับ ยกเว้นสีเบสิกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อระดับการกำจัดหมู่แอซีทิล (Degree of deacetylation) ของไคโตซานเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการคายการดูดซับของสีย้อมที่ค่าพีเอชและอุณหภูมิต่างๆ กัน พบว่า สีย้อมสามารถคายการดูดซับได้ดีที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

และที่ค่าพีเอช 10 หรือสูงกว่า ยกเว้นสีเบสิกคายการดูดซับได้ดีในสารละลายที่มีค่าพีเอช เท่ากับ 3 หรือต่ำกว่า ในการกำจัดสีย้อมออกจากน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมให้ผลในทำนองเดียวกันกับการกำจัดสีย้อมออกจากสารละลายสังเคราะห์โดยไคโตซานสามารถดูดซับสีแอซิด สีรีแอกทีฟ และสีไดเร็กต์ ได้ในปริมาณสูงสุด ประมาณร้อยละ 72 61 และ 94 ตามลำดับ

2.14.3 การบำบัดสีย้อมด้วยจุลินทรีย์

Hardin et al. (2000) ศึกษาการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอโดยการใช้เชื้อรา แบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาเชื้อราที่สามารถใช้ในการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้ง ส่วนที่ 2 เป็นการทดลองศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อราเหล่านั้นในการกำจัดสีย้อม โดยใช้สีชนิดต่างๆ เชื้อราที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ *Phanerochaete chrysosporium, Trametes versicolor, Pycnoporus cinnabarinus, Phellinus oxysporum, Cyathus stercoreus, Pleurotus ostreatus* โดยการเลี้ยงเชื้อราในจานเลี้ยงเชื้อที่มีวุ้นและสารสกัดจากมอลท์ (Malt) เมื่อใช้วุ้นร้อยละ 1 (น้ำหนัก/ปริมาตร) สารสกัดจากมอลท์ ร้อยละ 2 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และสี 10 มิลลิกรัมต่อลิตร สีย้อมที่ใช้ ได้แก่ C. I. Direct Red 16 และ C. I. Acid Blue 113 ผลการทดลองพบว่าเชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ดีในจานเลี้ยงเชื้อ การกำจัดสีเกิดขึ้นอย่างช้าๆ แต่เมื่อสารอาหารหมดลงเชื้อราใช้สีเป็นอาหาร สีจึงถูกย่อยสลายจนหมด ยกเว้นจานเลี้ยงเชื้อรา *P.ostreatus* และ *P.chrysosporium* ในการศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อราในการกำจัดสีย้อม ได้ใช้เชื้อราทั้ง 6 ชนิดจากการทดลองข้างต้นพร้อมๆ กับการทดลองกับเชื้อราชนิดใหม่อีก 3 ตัว โดยเปลี่ยนสารอาหารที่ใช้เลี้ยงเชื้อและทดลองกับสี 4 ประเภท ได้แก่ C. I. Acid Yellow 17, C. I. Disperse Blue 73, C. I. Vat Golden Yellow RK และ C. I. Reactive Blue 21 สารอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงเชื้อได้แก่ kirk's medium ในวุ้นร้อยละ 2 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และสี 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองพบว่า เชื้อรา *P.oxysporum, C.subvermispora* และ *P.pini* ไม่สามารถย่อยสลายสีได้ภายในระยะเวลา 3 สัปดาห์ ในขณะที่เชื้อราอีก 6 ชนิดที่เหลือสามารถกำจัดสีได้

Chen et al (2002) ทำการคัดเลือกแบคทีเรีย 6 สายพันธุ์จากตะกอนและโคลนจากทะเลสาบ ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้สามารถย่อยสลายสีย้อมได้ พบว่า *Aeromonas hydrophila* สามารถกำจัดสีได้สูงสุดโดยเจริญใน Aerobic หรือ Agitation culture และประสิทธิภาพการกำจัดสีเกิดขึ้นสูงสุดใน Anoxic หรือ Anaerobic culture ภายในระยะเวลา 8 วัน สามารถลดสี Red RBN ได้มากกว่าร้อยละ 90 ณ ความเข้มข้นเริ่มต้น 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อนำ *A. hydrophila* มาทดลองเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสีย้อมหลายชนิดผสมกัน พบว่าสามารถกำจัดสีได้ภายใน 2 วัน และในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน เช่น Yeast extract หรือ Peptone ช่วยให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีดีขึ้น แต่ในทาง

ตรงกันข้ามกลูโคสยับยั้งการกำจัดสีเนื่องจาก กลูโคสที่ถูกนำไปใช้เปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ ทำให้ค่าพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อลดลง ซึ่งขัดขวางการเจริญและการกำจัดสีของแบคทีเรีย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย