บทที่ 2

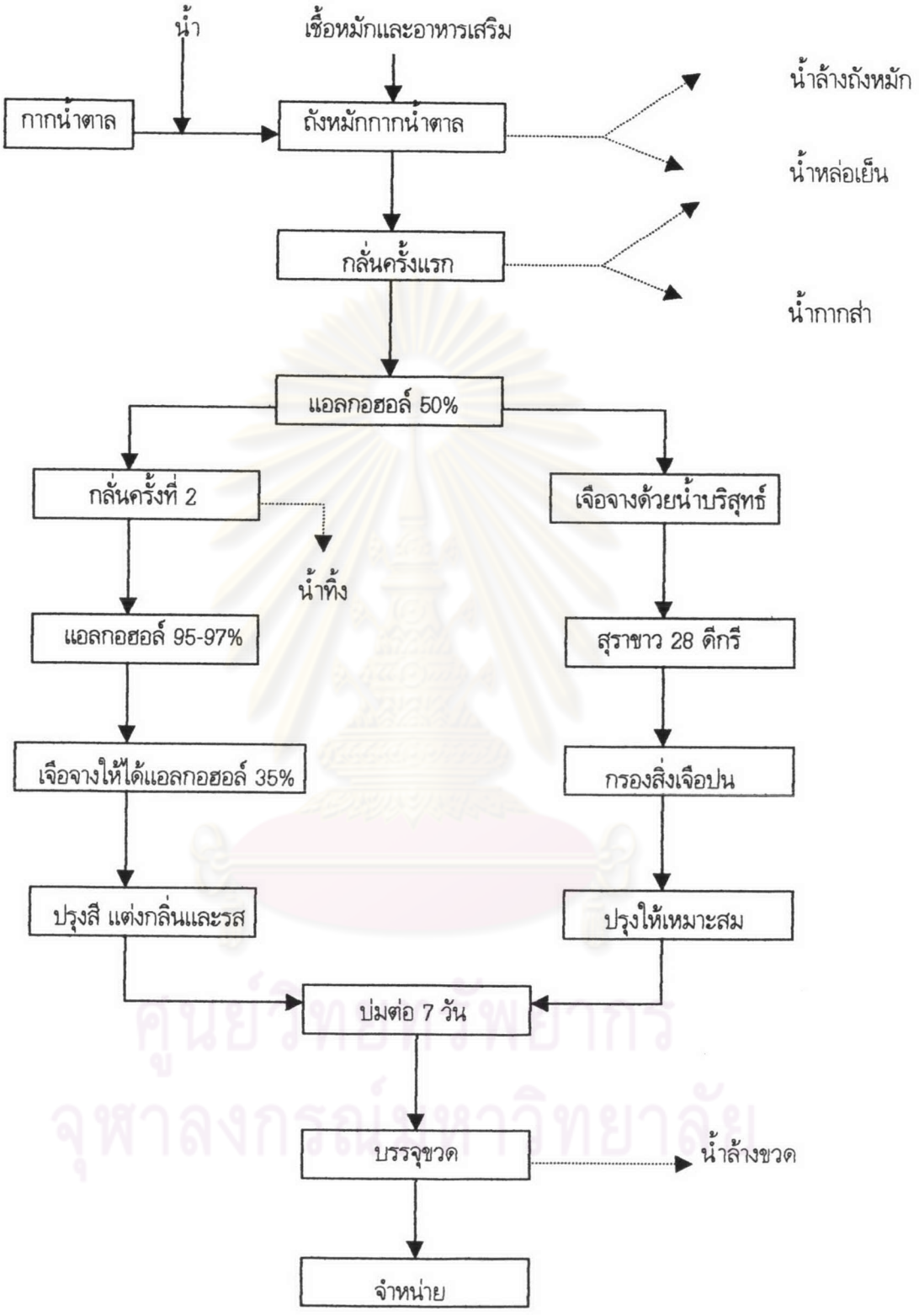
ทบทวนเอกสาร

2.1 ลักษณะน้ำกากส่า

น้ำกากส่า (Distillery Slop) คือ ของเหลวเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตสุรา ซึ่งกระบวนการผลิตสุรา สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 แผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตสุรา และจุดปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานสุรา (กองวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2524) คือ

- การหมักกากน้ำตาล (Fermentation) กากน้ำตาล (Molasses) เป็นผลผลิตที่เหลือจากการผลิตของโรงงานน้ำตาล ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถตกผลึกได้ต่อไปอีก มีสีดำ หรือสีน้ำตาลเข้ม มีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณ 50% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหมาะสมในการหมักประมาณ 16% โดยน้ำหนัก ดังนั้นการหมักจึงต้องเจือจางกากน้ำตาลด้วยน้ำ 3 เท่า แล้วจึงใส่เชื้อหมัก (Yeast) และอาหารเสริม การหมักจะใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง จะได้แอลกอฮอล์ 8 – 10% โดยปริมาตร ส่วนผสมของแอลกอฮอล์ภายหลังการหมักนี้ เรียกว่า เบียร์ (Beer) หรือแมช (Mash) หรือน้ำส่า ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังหอกลั่น
- การกลั่นแอลกอฮอล์ (Distillation) น้ำส่าที่ถูกส่งมายังหอกลั่นแรก เพื่อกลั่นแอลกอฮอล์ออกมา ได้แอลกอฮอล์ประมาณ 50% ส่วนหนึ่งของที่กลั่นได้นี้ถูกนำไปผลิตเป็นสุราขาว และอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปกลั่นในขั้นต่อไป เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 95 – 97% โดยปริมาตร
- การผลิตสุราขาว (Raw Alcohol Production) ส่วนหนึ่งของแอลกอฮอล์ประมาณ 50% โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งแรก จะถูกนำมาเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์เพื่อให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ 28% โดยปริมาตร หรือ 28 ดีกรี เรียกว่า สุราขาว จากนั้นกรองเศษผงและสิ่งเจือปนออก ปรุงให้เหมาะสมและนำมาบ่มต่อประมาณ 7 วัน หลังจากนั้นนำไปบรรจุขวดจำหน่ายต่อไป
- การผลิตสุราผสม (Blended Liquor Production) นำแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 95 – 97% โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งที่สอง มาเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ 35% โดยปริมาตร หรือ 35 ดีกรี แล้วเติมสี ยาสมุนไพร และส่วนประกอบอื่นๆ เพื่อให้ได้กลิ่นหอมและรสชาติตามความต้องการ จากนั้นนำมากรองและบ่มต่อประมาณ 7 วัน ก่อนบรรจุขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตสุรา และจุดปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานสุรา
(กองวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2524)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตสุราจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- น้ำเสียประเภทเจือจาง เป็นน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีต่ำ ประมาณ 10 - 450 มก./ล. ได้แก่ น้ำล้างขวด น้ำหล่อเย็น เป็นต้น
- น้ำเสียประเภทเข้มข้น เป็นน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีสูง ประมาณ 2,500 - 35,000 มก./ล. ได้แก่ น้ำล้างถังหมัก และน้ำกากส่า

จะเห็นได้ว่าน้ำเสียประเภทเข้มข้นนี้จะเป็นปัญหาที่ยากต่อการบำบัด โดยเฉพาะน้ำกากส่า ซึ่งนอกจากจะมีค่าบีโอดีสูงแล้ว ยังมีสีน้ำตาล อันเนื่องมาจากในกากน้ำตาลนอกจากจะมีน้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น ซูโครส (Sucrose) กลูโคส (Glucose) ฟรุตโตส (Fructose) และราฟฟิโนส (Raffinose) ซึ่งเป็นสารประกอบคอปเปอร์รีดิวซ์ (Copper Reducing Substance) ที่ยีสต์สามารถใช้ในการหมักแอลกอฮอล์แล้ว ยังมีสารคอปเปอร์รีดิวซ์อื่นๆ ที่ยีสต์ไม่สามารถใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ ส่วนใหญ่จะเป็นพวกคาราเมล (Caramel) ของน้ำตาลต่างๆ ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีธาตุไนโตรเจน ที่เกิดจากการน้ำตาลได้รับความร้อนมากเกินไปในระหว่างกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย และเมลานอยดิน (Melanoidin) ซึ่งเป็นสารที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากการควบแน่นของน้ำตาลต่างๆ กับกรดอะมิโน (Amino Acid) ซึ่งจะมีสีน้ำตาลเข้ม และเป็นตัวทำให้กากน้ำตาล หรือน้ำกากส่ามีสีน้ำตาลเข้มขึ้นด้วย (บุญเทียม, 2523 สุจินต์, 2527 Underkofler และ Hickley, 1954) จากการศึกษาโครงสร้างโมเลกุล โดย Kato และ Tsuchida (1981) โดยใช้วิธี electrolysis พบว่าเมลานอยดินมีประจุลบ สารนี้เป็นสารย่อยสลายได้ยาก จึงเป็นปัญหาในการบำบัดก่อนที่จะปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลอง

จากรายงานของ Underkofler และ Hickley (1954) พบว่าน้ำกากส่าโดยทั่วไปมีความเป็นกรดอุณหภูมิสูง มีสีเข้ม ของแข็งส่วนที่ละลายอยู่มีประมาณ 7 - 10% และมีสารอินทรีย์อยู่สูง คือ มีค่าบีโอดีสูงถึง 18,000-30,000 มก./ล. ซึ่งสอดคล้องกับคุณลักษณะของน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุรากรมสรรพสามิต 32 โรง ดังแสดงในตารางที่ 2.1 (ไชยยุทธ และคณะ, 2524)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะโดยเฉลี่ยของน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุรากรมสรรพสามิต 32 โรง

คุณลักษณะ	ค่าเฉลี่ย
พีเอช	3.66
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	88.6
ซีโอดี (มก./ล.)	118,098
บีโอดี (มก./ล)	27,475
สารที่แขวนลอย (มก./ล)	11,319
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มก./ล)	75,829
ของแข็งระเหย (มก./ล)	58,523
สารที่ตกตะกอน (มก./ล)	26.7
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (มก./ล)	935.0
ฟอสฟอรัส (มก./ล)	115.2
โปแตสเซียม (มก./ล)	4,763
ซัลเฟต (มก./ล)	3,718
ปริมาณ บีโอดี (กก./วัน)	3,806

ที่มา : ไชยยุทธ และคณะ (2524)

2.2 แนวทางการจัดการน้ำกากส่า

น้ำกากส่าเป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตแอกอฮอล์ และการกลั่นสุรา ซึ่งน้ำกากส่ามีคุณลักษณะที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่สูงหากปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ โดยไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดสารอินทรีย์ก่อน จะทำให้แหล่งน้ำเหล่านั้นเน่าเสียได้ อีกทั้งสีของน้ำกากส่าที่มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้มที่ยากต่อการกำจัดออกนั้น หากปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้แหล่งน้ำนั้นเกิดสภาพอันน่ารังเกียจ และประชาชนก็ไม่สามารถนำน้ำจากแหล่งน้ำไปใช้ประโยชน์ได้

จากรายงานของ สุจินต์ (2527) กล่าวว่าประเทศไทยมีวิธีการบำบัดน้ำกากส่าหลายระบบด้วยกันในอดีต ตามความเหมาะสม ดังนี้

1. การระเหยและการเผา (Evaporation and Combustion) ซึ่งระบบนี้ได้เคยใช้กับโรงงานสุราบางยี่ขัน 1 และโรงงานสุราบางยี่ขัน 2 จังหวัดปทุมธานี โดยจะเคี่ยวน้ำกากส่าในหม้อเคี่ยวสเตนเลส เพื่อให้มีความเข้มข้นประมาณ 60% ซึ่งมีลักษณะคล้ายน้ำมันเตาข้น หรือกากน้ำตาลข้น จากนั้นก็นำไปฉีดเข้าเตาเผาภายใต้ความดันสูงที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

วิธีการนี้ค่อนข้างยุ่งยาก ราคาแพง แล้วยังทำให้เกิดมลภาวะของอากาศ คือมีเถ้าถ่านปลิวออกมามากมาย และมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกมาสู่อากาศเป็นจำนวนมาก มีกลิ่นเหม็นรุนแรง และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต แต่ผลพลอยได้คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถนำมาใช้แทนน้ำมันเตาในระบบหอกลั่นได้

2. การระเหย (Evaporation) วิธีมักใช้ทดลองกับน้ำกากส่าปริมาณน้อย ๆ โดยการเคี่ยวในกะทะขนาดใหญ่ที่มีปล่องระบายควันออก วิธีนี้ก็ต้องใช้พลังงานมากเช่นกัน โดยน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร จะต้องใช้น้ำมันเตาถึง 28 ลิตร หรือคิดเป็นเงิน 126 บาทต่อน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร จะทำให้มีความเข้มข้นขึ้น 20 เท่าจากเดิม และน้ำกากส่าเข้มข้นที่ได้นี้จะนำไปใช้ในการเกษตรได้ดี
3. การหมักในถังหมักไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) และกระบวนการเติมอากาศเลี้ยงตะกอน (Activated Sludge Process) วิธีนี้เคยมีการสร้างที่โรงงานสุรา จังหวัดภูเก็ต และโรงงานสุราไทยทำ จังหวัดนนทบุรี โดยการหมักน้ำกากส่าในถังหมัก เพื่อให้ได้แก๊สมีเทนมาใช้แทนน้ำมันเตา ซึ่งจะคุ้มทุนได้ภายในเวลา 3 – 5 ปี แก๊สมีเทนที่ได้ประมาณ 15 – 20 ลูกบาศก์เมตร ต่อน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร น้ำกากส่าที่ผ่านการหมักนี้แล้ว จะมีค่าบีโอดีลดลงประมาณ 80% ซึ่งจะต้องนำไปบำบัดโดยกระบวนการเติมอากาศเลี้ยงตะกอน ซึ่งจะต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงมาก คือ ประมาณ 100 – 200 บาท ต่อน้ำกากส่า 1 ลบ.ม. อย่างไรก็ตามน้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดโดยกระบวนการเติมอากาศเลี้ยงตะกอนยังมีสีเข้มอยู่และมีค่าบีโอดีสูงเกินกว่าข้อกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม และกระบวนการบำบัดนี้ค่อนข้างซับซ้อน ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญควบคุมการทำงานของระบบ แต่ข้อดีคือ ใช้เนื้อที่น้อย
4. การทำปุ๋ยหมัก (Composting) วิธีการโดยการขนเอาวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อย ขี้เถ้าแกลบ ขุยมะพร้าว เป็นต้น โดยนำมากองแล้วฉีดพ่นชานอ้อยด้วยน้ำกากส่า แล้วทำการกับกองชานอ้อยเพื่อให้เกิดสภาพอากาศถ่ายเทได้โดยสะดวก นอกจากนี้ยังต้องเร่งการหมักด้วยการใส่เชื้อหมักเพื่อให้เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น เมื่อกระบวนการหมักสมบูรณ์แล้วจะได้ปุ๋ยหมักสีดำเข้มและมีประโยชน์ในการเกษตร วิธีนี้ลงทุนครั้งแรกต่ำแต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูงมาก คือ ประมาณ 100 บาท ต่อลูกบาศก์เมตร และจะทำได้ดีในฤดูแล้งเท่านั้น เพราะฤดูฝนจะมีปัญหาเกี่ยวกับการกลับกองปุ๋ย
5. การทำบ่อเก็บกักและลานตาก (Storage Lagoon and Land Application) วิธีนี้ได้แก่ การขุดบ่อเก็บกักน้ำกากส่าตลอดฤดูฝน 6 เดือน ซึ่งระยะนี้จะเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ค่า บี.โอ.ดี. อาจลดลงตั้งแต่ 80 – 90% แต่ก็ยังมีค่าสูงอยู่คือ ประมาณ 3,000 – 6,000 มก./ล. ไม่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้ จึงต้องนำไปกำจัดต่อด้วยการระบายน้ำกากส่านี้ มาตากแห้งบนลานตากในฤดูแล้งอีก 6 เดือน โดยที่ลานตากนี้จะทำหน้าที่คล้ายนาเกลือ และอัตราการระเหยประมาณ 4 มม./วัน กากส่าแห้งที่ได้สามารถใช้เป็นปุ๋ยในทางการเกษตรได้ดีมาก คือ จะมีเนื้อปุ๋ย เอ็น. พี. เค. มากกว่าปุ๋ยคอก 3 – 4 เท่าตัว

6. ราดถนน (Road Spray) เนื่องจากน้ำกากส่ามีสารลิกนินอยู่ทำให้มีความเหนียวแน่นมากกว่าน้ำ และสามารถยึดฝุ่นให้อยู่แน่นคล้ายยางมะตอย และจะไม่มีฝุ่นไปนานกว่า 2 สัปดาห์ ดังนั้น จึงนำมาราดถนนลูกรังได้ดี วิธีนี้ใช้ได้เฉพาะฤดูแล้งเท่านั้น
7. ใช้เป็นอาหารปลา (Fish Farming) เป็นการใช้น้ำกากส่าเป็นอาหารทางอ้อมแก่ปลา เพราะน้ำกากส่าจะใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็ก เช่น แพลงต์ตอน ซึ่งเป็นอาหารแก่ปลาอีกต่อหนึ่ง จากผลการทดลองพบว่า ถ้าใช้น้ำกากส่าสดในอัตรา 0.6 ส่วนในพันส่วน ต่อ 2 สัปดาห์ จะทำให้ปลาสลิดเติบโตได้สูงสุด วิธีนี้ข้อจำกัดตรงที่ใช้น้ำกากส่าได้น้อยมาก กล่าวคือ บ่อขนาด 1 ไร่ ลึก 1 เมตร จะใช้น้ำกากส่าเพียง 7 ลูกบาศเมตรต่อ 2 สัปดาห์ ซึ่งถ้าใช้น้ำกากส่ามากเกินไปจะทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลง น้ำเกิดเน่าเหม็น และปลาอาจตายได้
8. ใช้ในการเกษตรโดยตรง (Direct Agricultural Use) โดยการปล่อยน้ำกากส่าเข้านาข้าว ไร่อ้อยโดยตรง เป็นต้น โดยใส่ในฤดูแล้ง หรือขณะที่นายังว่างอยู่หลังการเก็บเกี่ยว

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชนต่างๆ จะเป็นแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของโรงงานอุตสาหกรรม หรือแหล่งชุมชน โดยปัจจัยที่ควรพิจารณา คือ ชนิด และปริมาณของน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ตลอดจนสภาพที่จะใช้ในการสร้างระบบบำบัด โดยทั่วไปกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท (สันทัด, 2527) ดังนี้

1. กระบวนการบำบัดทางฟิสิกส์ (Physical Treatment) โดยใช้ปฏิกิริยาทางฟิสิกส์ เช่น การกรอง การตกตะกอน และการดูดซึม เป็นต้น
2. กระบวนการบำบัดทางฟิสิกส์เคมี (Physical - Chemical Treatment) โดยใช้ปฏิกิริยาทางฟิสิกส์เคมี เช่น การดูดซึม เป็นต้น
3. กระบวนการบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment) โดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งอาจจะไปช่วยเร่งปฏิกิริยาทางฟิสิกส์ เช่น การเติมสารส้มในการตกตะกอน หรือการเติมด่างเพื่อไปลดปริมาณความเป็นกรดในน้ำเสีย เป็นต้น
4. กระบวนการบำบัดทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Treatment) โดยใช้ปฏิกิริยาทางไฟฟ้า เช่น การใช้แผ่นอิเล็กโตรดทำให้เกิดการร่วม (Coprecipitation) เป็นต้น
5. กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological Treatment) โดยใช้ปฏิกิริยาทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ในการทำลายหรือแยกสิ่งเจือปนออกจากน้ำทิ้ง เป็นต้น

ระบบที่นิยมใช้ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ กระบวนการบำบัดด้วยเคมีไฟฟ้า และกระบวนการบำบัดทางเคมี ดังนี้

2.2.1 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

กระบวนการบำบัดน้ำกากส่าด้วยวิธีทางชีวภาพ เหมาะสำหรับการบำบัดค่าซีโอดีของน้ำกากส่า แต่ไม่เหมาะสำหรับการกำจัดสีในน้ำกากส่า โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยกระบวนการทางชีวภาพ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Ohmomo และคณะ (1987) พบว่าแบคทีเรียไม่ต้องใช้อากาศ (Anaerobic Bacteria) ในกลุ่มของแลคติคแอซิคแบคทีเรีย สามารถลดความเข้มสีน้ำกากส่าได้ 30% ซึ่งมีค่าต่ำกว่าความสามารถในการลดความเข้มสีของเชื้อราในกลุ่ม Basidiomycetes และ Accomycetes การเจริญและความสามารถในการลดความเข้มสีน้ำกากส่านั้นไม่ต้องการการออกซิเจน ซึ่งเหมาะสมต่อการบำบัดน้ำกากส่าในอุตสาหกรรม และพบว่าเมื่อนำแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนนี้ไปตรึงด้วยเจลแคลเซียมอัลจิเนต จะสามารถลดความเข้มสีน้ำกากส่าได้เพิ่มขึ้น 1.6 เท่า ของการใช้เซลอิสระ ทั้งนี้เนื่องจากว่าการที่นำเซลของแบคทีเรียไปใส่ในเจลนั้น เป็นการปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมแก่เชื้อรามากยิ่งขึ้น นอกจากนี้เซลที่ถูกตรึงยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่าไปได้อีก

สันทัด (2527) พบว่าเชื้อราสายพันธุ์ D 90 ที่อยู่ในกลุ่ม Deuteromycetes สามารถลดความเข้มสีกากน้ำตาลได้ 90% ในเวลา 10 วัน โดยมีการเติมน้ำตาลกลูโคส 2.5 เปอร์เซ็นต์ และยีสต์สกัด 0.2 เปอร์เซ็นต์ พีเอช เท่ากับ 6.0 และมีปริมาณเชื้อรา เริ่มต้นไม่ต่ำกว่า 0.15 เปอร์เซ็นต์ นำเชื้อรา D 90 ไปทำการลดความเข้มสีน้ำกากส่าสด น้ำกากส่าหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ และน้ำกากส่าหลังผ่านระบบบำบัดแบบใช้อากาศ พบว่าน้ำกากส่าสดเหมาะสมที่สุดสำหรับเชื้อรา D 90 ซึ่งสามารถลดความเข้มสีน้ำกากส่าได้ 91% ในเวลา 10 วัน และยังลดระดับบีโอดี ได้ 81 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 12 วัน ในขณะที่น้ำกากส่าหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ และระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ สามารถลดความเข้มสีน้ำกากส่าได้ 65 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และลดระดับบีโอดีได้ 95.5 และ 93.4% ตามลำดับ

Sirianuntapiboon และคณะ (1988) ได้นำราสายพันธุ์ D 90 ที่ได้จากการคัดพันธุ์ในประเทศไทยมาทำการศึกษาการกำจัดสีน้ำกากส่าต่อ โดยใช้น้ำกากส่าจากโรงงานผลิตเอทานอลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบไร้อากาศ และใช้อากาศ พบว่า สามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 10 วัน และลดค่าบีโอดีได้ 80% เมื่อเลี้ยงรา D 90 ในสารละลายสีน้ำกากส่า ที่ได้จากโรงงานผลิตเอทานอลที่ผสมด้วยกลูโคส 2.5% โซเดียมไนเตรท 0.2 เปอร์เซ็นต์ โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.1% แมกนีเซียมซัลเฟต 0.05% และนำไปผ่านการตกตะกอน นำไประเหย และไดอะไลซ์นำมาปรับความเข้มข้นของสีด้วยการวัดค่าการดูด

กลีนแสงที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร วัดได้ค่าเท่ากับ 3.5 ปรับความเป็นกรดด่าง เท่ากับ 6.0 เลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน เมื่อการทดลองใช้น้ำกากส่าที่ไม่ได้ใน่สารอาหารลงไปพบว่าเชื้อรา D 90 สามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้เพียง 17.5% และในสภาวะที่ไม่ได้ฆ่าเชื้อจะสามารถกำจัดสีได้ 70% ในเวลา 11 วัน และลดค่าบีโอดีได้ 90 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 15 วัน เมื่อทำการกำจัดสีเมลานอยดินในระบบกึ่งต่อเนื่อง (Feedback) พบว่าสามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 10 วัน และลดค่าบีโอดีได้ 70%

Ohmomo, Daengsubha และคณะ (1988) ได้คัดเลือกจุลินทรีย์พวกกึ่งไม่ใช้อากาศ (facultative anaerobe) ที่มีความสามารถในการกำจัดสีน้ำกากส่า (Melanoidin - Decolorizing Activity) หรือ MDA โดยคัดเลือกจากบ่อเก็บน้ำกากส่าในโรงงานผลิตเอทานอลพบว่ามีแบคทีเรียบางสายพันธุ์ ที่มีความสามารถในการกำจัดสีน้ำ กากส่าได้โดยเฉพาะ *lactobacillus hilgardii* สายพันธุ์ W - NS สามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้ 28% เมื่อเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วยกลูโคส 1.0เปอร์เซ็นต์ ยีสต์ 0.2 เปอร์เซ็นต์ เปปโตส 0.3% โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.1% แมกนีเซียมซัลเฟต 0.05% ในสารละลายสีน้ำกากส่าเมลานอยดินที่ได้ จากโรงงานผลิตเอทานอล เตรียมสารละลายสีน้ำกากส่าด้วยวิธีการเดียวกันกับวิธีการข้างต้น ปรับความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7.3 ด้วยโซเดียมคาร์บอเนต เลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน เมื่อทำการปรับปรุงการกำจัดสีน้ำกากส่าด้วยวิธีการตรึงเซลล์ด้วยแคลเซียมอัลจิเนตแล้ว พบว่าสามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้เพิ่มมากขึ้นเป็น 40%

Ohmomo, Yahikawa และคณะ (1988) ได้ศึกษาการกำจัดสีน้ำกากส่าแบบระบบต่อเนื่องด้วยแบคทีเรีย *lactobacillus hilgardii* สายพันธุ์ W - NS ที่ตรึงเซลล์ด้วยแคลเซียมอัลจิเนตแล้ว ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีกลูโคส 1 เปอร์เซ็นต์ ปรับความเป็นกรดด่างเท่ากับ 5.0 เลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้ 90% ในเวลา 1 เดือน โดยจะต้องมีการเติมเปปโตน 0.05 เปอร์เซ็นต์ ลงในน้ำกากส่านั้น และเมื่อทำการทดลองในถังหมักแบบคอลัมน์ (Column - Type Reactor) จะไม่สามารถบำรุงรักษาเชื้อได้ และการกำจัดสีน้ำกากส่าจะลดลงครึ่งหนึ่งในเวลา 5 วัน เมื่อความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7.3 การกำจัดสีก็จะลดลงอีก

2.2.2 กระบวนการบำบัดทางเคมีไฟฟ้า

Uhrich (1989) สร้างระบบทดลองกำจัดสีน้ำเสียที่มีสีย้อม และโลหะหนักเป็นสารเจือปน การทำงานของระบบเริ่มจากน้ำเสียถูกสูบผ่านเซลล์อิเล็กโตรไลท์ (Electrolytic Cell) ที่ขั้วไฟฟ้าบวกเป็นโลหะเหล็ก หรือโลหะผสมเหล็ก (iron alloy) ขั้วไฟฟ้าบวกจะให้เหล็กเฟอร์รัส (Ferrous Iron) ซึ่งทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์อิออน ที่มาจากขั้วไฟฟ้าลบ สารนี้จะทำให้เกิดการตกตะกอนร่วม (Coprecipitation) กับสีย้อมและโลหะหนักในรูปของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ (Ferrous Hydroxide) ที่ไม่ละลายน้ำ ผลการทดลองโดยใช้สี Indigo dye

ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ปรับพีเอชเป็น 8.38 ใช้อัตราการไหลตั้งแต่ 0.4 – 2 แกลลอนต่อนาที น้ำทิ้งที่ออกจากระบบจะใส และไม่มีสี (Clear Colorless Solution) แต่ถ้าใช้ Atlantic Paper Liquid ความเข้มข้น 9.1 พีพีเอ็ม พีเอชเริ่มต้น 7.4 และปรับพีเอชเป็น 8.48 ก่อนเข้าระบบ ค่าที่ดีที่สุด คือ 0.3 แกลลอนต่อนาที แต่ต้องนำกลับมาบำบัดใหม่หลายครั้ง ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลการทดลองการกำจัดสี Indigo dye โดยใช้ระบบเคมีไฟฟ้า (Uhrich, 1989)

Flow (gpm)	AMPS/Volts	pH out	Result
0.2	10/16	9.22	ไม่มีสี
1.0	7.5/16	9.60	ชมพู
0.5	10/14.5	9.60	ชมพู
0.2	12.5/17	9.60	ชมพู
0.3	12.5/16	9.30	ไม่มีสี

Thomas และคณะ (1989) ได้สร้างระบบ water clarification apparatus และวิธีการกำจัดสีและสารอินทรีย์ในบ่อสี (Dye Lagoon) ในบ่อสีประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าลบตั้งอยู่ที่ทางออก และขั้วไฟฟ้าบวกเป็นแผ่นตะแกรงเหล็กติดตั้งอยู่ในกรอบ มีหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 480 โวลท์ ต่อกับเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงขนาด 100 กิโลวัตต์ สามารถใช้งานในช่วง 100 – 400 โวลท์ หรือกระแสไฟฟ้า 80 – 640 แอมแปร์ ความหนาแน่นของกระแสเฉลี่ย 0.00016 และ 0.00128 แอมแปร์ต่อตารางฟุต

2.2.3 กระบวนการบำบัดทางเคมี

Hayase และคณะ (1984) ได้ทำการศึกษาพบว่าเมื่อใช้เอ็มไซม์กลูโคสออกซิเดสกำจัดสีเมลานอยดินในสภาวะที่เหมาะสมจะกำจัดสีเมลานอยดินได้ถึง 65% ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับสารตั้งต้นทำให้เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และย่อยสลายเมลานอยดิน จากเหตุผลดังกล่าวนี้ จึงใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาทำการทดลองแทนเอมไซม์ดังกล่าว โดยการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณความเข้มข้น เหมาะสมที่สุด คือ 6.72% ที่พีเอช 2 ระดับ คือ 7.0 และ 10.0 ณ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 ชั่วโมง เมลานอยดินจะถูกย่อยสลายลง 64 และ 97% ตามลำดับ เมลานอยดินที่ถูกย่อยสลายลงนี้จะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 3,500 – 5,300

Veronica และคณะ (1993) แยกเมลานอยดินในน้ำกากส่าโดยใช้สารรวมตะกอนอนินทรีย์ชนิดการค้า (Commercial Inorganic Flocculant) ที่มีสูตรทางเคมี $[Fe_2(OH)_n(SO_4)_{3-n/2}]_m$ ประสิทธิภาพในการกำจัดสี 32 87 และ 94% เมื่อใช้กำจัดสีน้ำกากส่าสด น้ำทิ้งที่ผ่านทั้งระบบย่อยสลายแบบชีวภาพ กับระบบบ่อบำบัดตามลำดับ ทีโอซี ลดลง 21% สำหรับน้ำกากส่าสด และประมาณ 73 เปอร์เซ็นต์ สำหรับระบบย่อยสลายทางชีวภาพ และระบบที่ผ่านทั้งระบบย่อยสลายทางชีวภาพและระบบบ่อ ในน้ำกากส่าสดมีปริมาณฟลูออไรด์อิออนอยู่มากพอสมควรทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลง การเติมแคลเซียมออกไซด์ 30 กรัมต่อลิตรน้ำกากส่า จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีเป็น 93 เปอร์เซ็นต์

สาขาวิจัยสิ่งแวดล้อม และทรัพยากร (2524) ทำการทดลองหาแนวทางการกำจัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุราที่เหมาะสมในประเทศไทย โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนที่ 1 นั้นใช้ระบบไร้อากาศในการลดค่าบีโอดี และซีโอดี การทดลองขั้นที่ 2 นั้นใช้ระบบให้อากาศในการลดค่าบีโอดี และซีโอดี ส่วนการทดลองในขั้นตอนที่ 3 เป็นวิธีการทางเคมี ในการตกตะกอนสีน้ำกากส่าด้วยสารเคมี โดยทดลองใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เช่น สารส้ม ปูนขาว และเฟอร์ริคคลอไรด์ ผลการทดลองพบว่า สารเคมีที่เหมาะสมที่สุด คือ สารส้ม รองลงมา คือ เฟอร์ริคคลอไรด์ และปูนขาว ปริมาณสารส้มที่พอเหมาะในการตกตะกอนสีน้ำกาก-ส่า คือ 5 กิโลกรัม ต่อน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร ที่ผ่านระบบบำบัดในขั้นที่ 2 หรือ 35 กิโลกรัมน้ำกากส่าสด แต่ข้อเสียของสารเคมีดังกล่าว คือ ตะกอนที่เกิดขึ้นนั้นมีลักษณะการจมตัวที่ยาก

เนื่องจากกระบวนการตะกอนทางเคมีในการกำจัดสีน้ำกากส่านั้น ถึงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำกากส่าจะอยู่ในเกณฑ์ที่สูงมาก แต่ตะกอนที่เกิดขึ้นหลังจากกระบวนการตกตะกอนทางเคมีนั้นไม่สามารถที่จะจมตัวได้ดี คือ ตะกอนมีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ในการแยกน้ำใสออกจากชั้นตะกอน ดังนั้นงานวิจัยนี้ จะพิจารณากระบวนการกำจัดสีของน้ำกากส่าด้วยวิธีการตะกอนทางเคมีโดยเปรียบเทียบการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ร่วมกับวัสดุแกนเกาะ คือ แกลบเผา หรือซิลิกาอะลูมินา หรือขี้เถ้า ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร จากกระบวนการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และโรงผลิตไฟฟ้า ตามลำดับ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดสีน้ำกากส่า

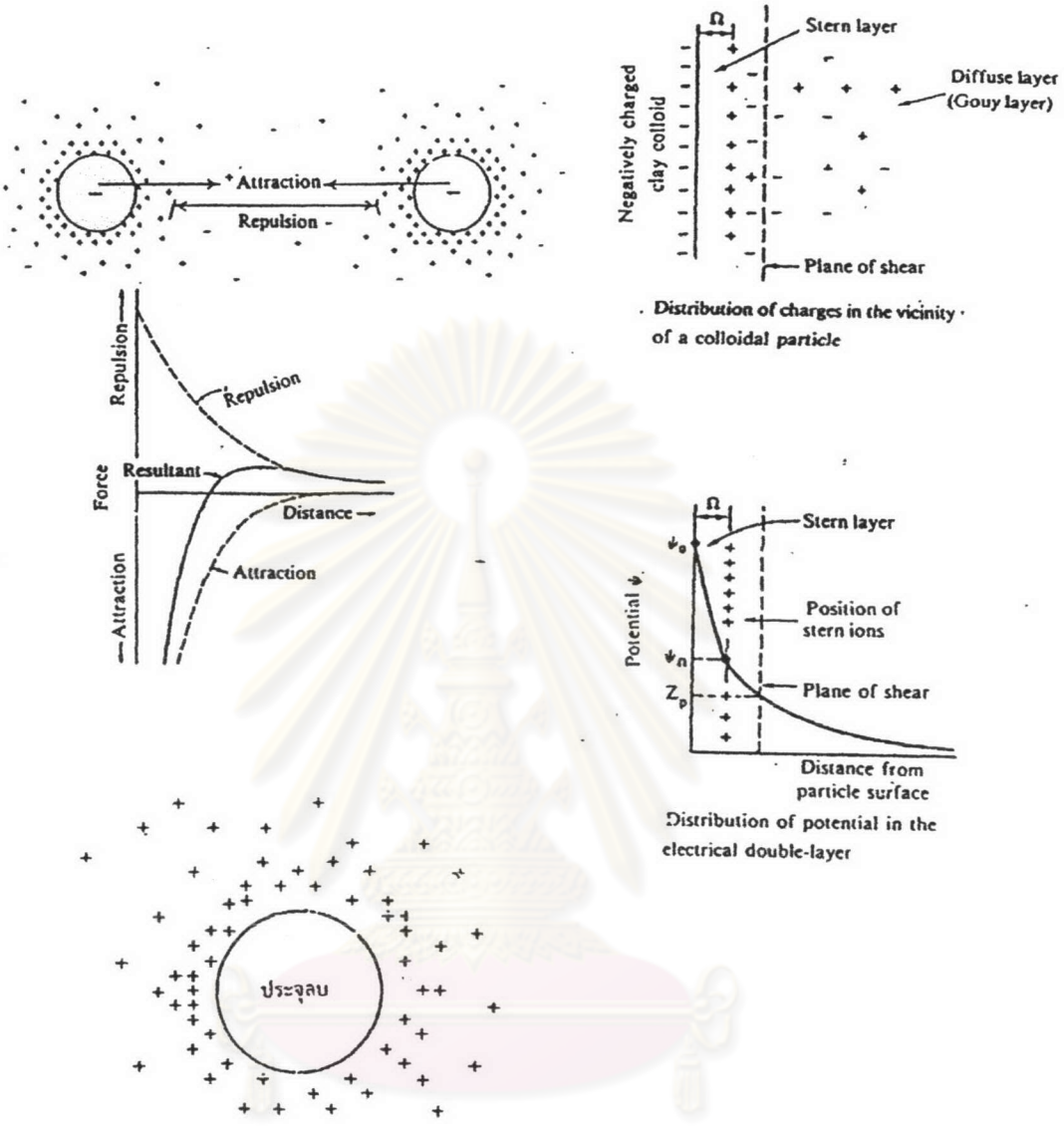
2.3 ทฤษฎีการตกตะกอน

ทฤษฎีการตกตะกอนประกอบด้วยกระบวนหรือขั้นตอนสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ กระบวนการไฟฟ้าเคมีในการลดหรือทำลายเสถียรภาพที่ผิวอนุภาคคอลลอยด์ และขั้นตอนทางกายภาพในการสร้างสภาวะที่เหมาะสมของอนุภาคคอลลอยด์ ที่สูญเสียเสถียรภาพให้เคลื่อนที่เข้าใกล้กัน เพื่อสร้างโอกาสสัมผัส และรวมตัวของอนุภาค จนมีขนาดใหญ่ พร้อมที่จะถูกกำจัดออกจากระบบ ด้วยกระบวนการตกตะกอน

2.3.1 เสถียรภาพของระบบคอลลอยด์

ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูง คือ ระบบคอลลอยด์ที่อนุภาคตกตะกอนด้วยตัวเองตามธรรมชาติได้ยาก หรือไม่ตกตะกอนในระยะเวลาอันสั้น การที่ระบบคอลลอยด์มีเสถียรภาพอยู่ได้นั้น เนื่องจากมีแรงกระทำระหว่างอนุภาค กล่าวคือ มีทั้งแรงดูดและแรงผลักกระทำต่ออนุภาคตลอดเวลา แรงดูดเกิดจากน้ำหนักของมวลอนุภาค เรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลล์ (Van Der Vaals Force) เป็นแรงอ่อนที่มีอำนาจเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กัน ส่วนแรงผลักระหว่างอนุภาคเป็นผลมาจากประจุไฟฟ้าของอนุภาค หรือซีตาโพเทนเชียล (Zeta Potential, Z_p) ผลลัพธ์ของแรงทั้งสองชนิด ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาค ดังแสดงในรูปที่ 2.2 แสดงชั้นต่างๆ ที่ล้อมอนุภาค และอิทธิพลของระยะห่างระหว่างอนุภาคที่มีอิทธิพลต่อแรงที่กระทำระหว่างอนุภาค (มั่นสิน, 2538) ซึ่งโดยปกติแล้วแรงผลักจะไม่เปิดโอกาสให้อนุภาคต่างๆ เข้ามาใกล้จนเกิดการดูดเข้าหากัน การวัดระดับเสถียรภาพของระบบคอลลอยด์ทำได้โดยการวัดศักย์ไฟฟ้าบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่สามารถวัดอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคแล้วนำมาคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้า หรือค่าศักย์ซีตา ซึ่งหมายถึงศักย์ที่ผิวที่เปลือกนอกสุดของชั้นน้ำที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับอนุภาคคอลลอยด์ ศักย์ซีตามีประโยชน์ตรงที่เป็นตัววัดระดับเสถียรภาพของระบบคอลลอยด์ ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพมากเท่าไร ค่าศักย์ซีตาก็ยิ่งมีค่าสูง อนุภาคคอลลอยด์ตกตะกอนได้ยาก และในทางกลับกันถ้าระบบคอลลอยด์ที่มีค่าศักย์ซีตาต่ำ อนุภาคคอลลอยด์ยิ่งตกตะกอนได้ง่าย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

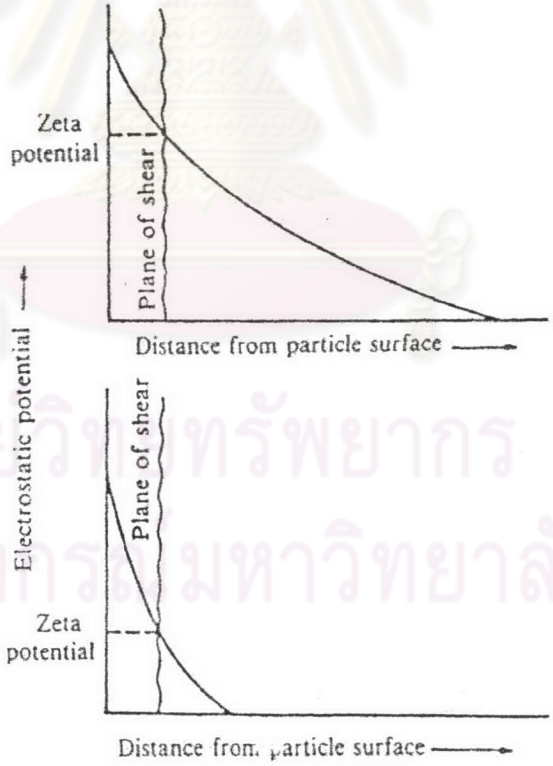
รูปที่ 2.2 แสดงชั้นต่างๆ ที่ล้อมอนุภาค และอิทธิพลของระยะห่างระหว่างอนุภาคที่มีอิทธิพลต่อแรงที่กระทำระหว่างอนุภาค (มั่นสิน, 2538)

2.3.2 การทำลายเสถียรภาพของระบบคอลลอยด์

การกระจายสารโคแอกูแลนท์ในน้ำให้ทั่วถึงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่ง ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีและเกิดการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำ ซึ่งกลไกการเกิดโคแอกูเลชัน หรือการทำลายเสถียรภาพของระบบคอลลอยด์สามารถทำได้โดยอาศัยกลไก 4 แบบ คือ

1. การลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer)

กลไกนี้เป็นการเพิ่มจำนวนของอิออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาคคอลลอยด์ เป็นการเพิ่มประจุตรงกันข้าม (Counter Ion) ในชั้นกระจาย ผลที่เกิดขึ้น คือ ชั้นกระจายมีความหนาลดลง ซึ่งเป็นผลให้ค่าศักย์ซีตาลดลงตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ผลของการเติมอิออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับอนุภาคคอลลอยด์ (มั่นสิน, 2538) การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากมีประจุบวกเข้าไปออกันอยู่ใกล้ผิวของอนุภาคคอลลอยด์เพิ่มขึ้น ทำให้อำนาจประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ไม่สามารถส่งออกไปได้ไกลเท่าเดิม อิออนต่างๆ มีอำนาจในการลดความหนาของชั้นกระจายได้ไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.3 ผลของการเติมอิออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับอนุภาคคอลลอยด์ (มั่นสิน, 2538)

2. กลไกการดูดติดผิวและการทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption/Charge Neutralization)

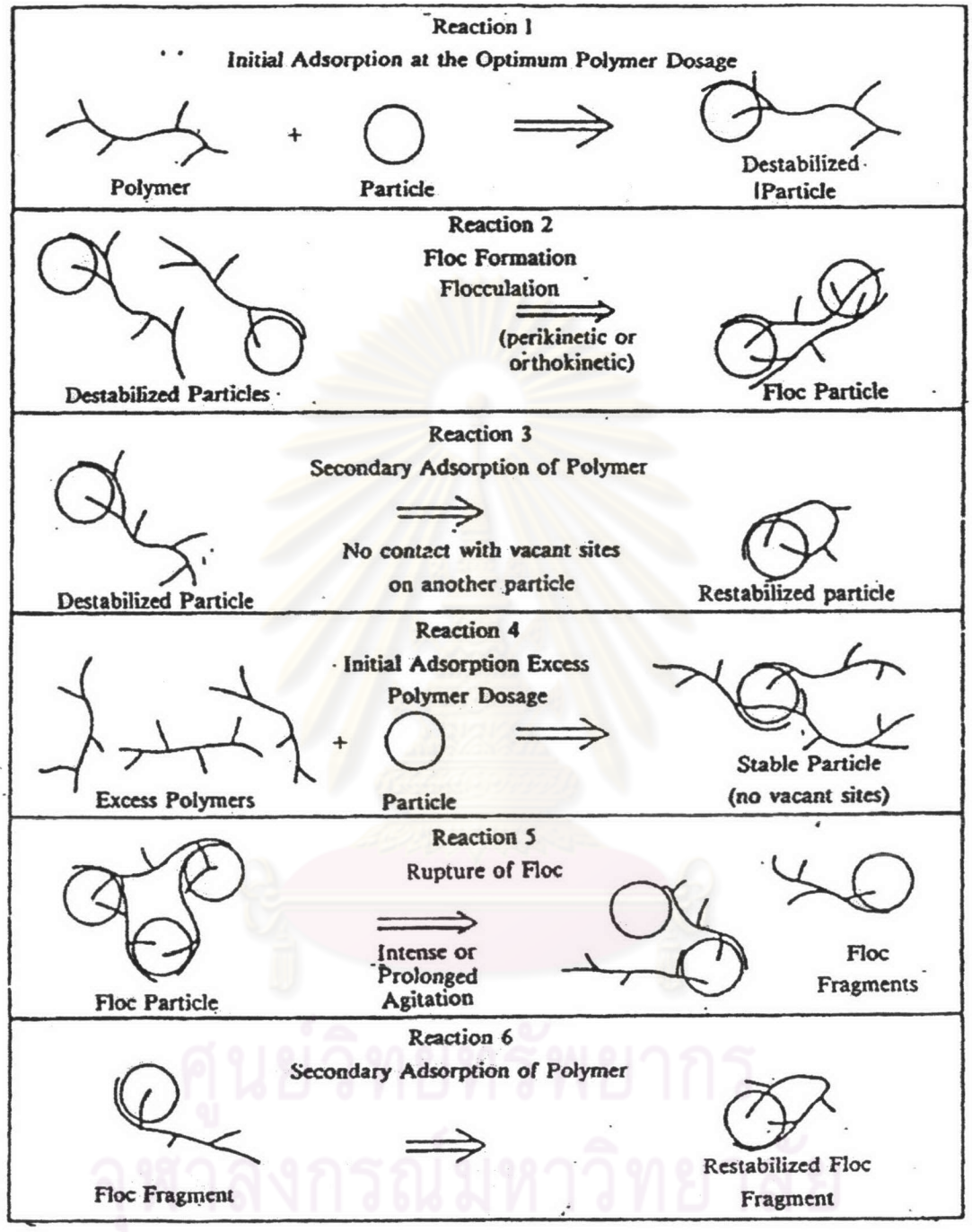
กลไกนี้เป็นการใช้สารเคมีที่มีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์ไปดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์ แล้วเปลี่ยนหรือทำลายอำนาจไฟฟ้าของอนุภาค เป็นการลดหรือทำลายเสถียรภาพของระบบคอลลอยด์ โดยอาศัยอิออนที่สามารถเข้าถึงผิวอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งน้อยชนิดที่สามารถทำได้ ตัวอย่างเช่น อิออนอะลูมิเนียม และเฟอร์ริค เป็นต้น กลไกแบบนี้อาจเกิดการกลายกลับของประจุของอนุภาคคอลลอยด์ได้ เนื่องด้วยกลไกแบบนี้เป็นไปตามสตอยชิโอเมตริค

3. กลไกแบบกวาด (Sweep Coagulation)

กลไกแบบนี้ใช้สารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปในน้ำในปริมาณที่พอเพียงจะทำให้เกิดผลึกขึ้นอย่างรวดเร็ว อนุภาคของคอลลอยด์จะเป็นแกนในของผลึกดังกล่าว เพื่อให้ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้น หรืออาจจับรวมกันกับผลึก ลักษณะที่เกิดขึ้นนี้อาจถือว่าเป็นการเพิ่มขนาดหรือน้ำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งการทำลายเสถียรภาพของระบบคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบนี้ จะแตกต่างจาก 2 กลไกแรก คือ ปริมาณโคแอกูแลนท์ที่เหมาะสม แปรผกผันกับความเข้มข้นของอนุภาคคอลลอยด์ โดยสารที่เติมเข้าไปนั้น กล่าวคือ หากน้ำมีอนุภาคคอลลอยด์น้อยจะต้องใช้ปริมาณโคแอกูแลนท์ที่มาก จึงจะเกิดกระบวนโคแอกูเลชันที่ดี สารเคมีส่วนมากที่ใช้ เช่น สารส้ม เฟอร์ริคคลอไรด์ แมกนีเซียมคาร์บอเนต และปูนขาว เป็นต้น ในบางกรณีการเติมเป้าสัมผัสจากภายนอกให้กับอนุภาคคอลลอยด์ก็เป็นสิ่งจำเป็น เพื่อเป็นการลดปริมาณโคแอกูแลนท์ที่ใช้

4. กลไกการใช้สารโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม (Polymer Bridging)

กลไกแบบนี้เป็นการเติมสารที่มีมวลโมเลกุลสูง เช่น แป้ง เซลลูโลส และโพลีเมอร์ เป็นต้น ให้เป็นแกนในการเกาะของอนุภาคคอลลอยด์ การเกาะติดของอนุภาคคอลลอยด์บนโมเลกุลของโพลีเมอร์ อาจเนื่องมาจากประจุที่แตกต่างกันระหว่างอนุภาคคอลลอยด์กับโพลีเมอร์ หรือเป็นแรงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างประจุที่เหมือนกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ น้ำหนักของสารที่เพิ่มขึ้นจนสามารถเอาชนะแรงผลักได้ ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพของระบบคอลลอยด์ แต่การเติมโพลิเมอร์ที่มากเกินไปหรือการกวนที่แรงเกินไปอาจทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ (Restabilized Particle) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบต่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์ (มั่นสิน, 2538)



รูปที่ 2.4 กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบต่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์ (มั่นสิน, 2538)

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการตกตะกอน

กระบวนการตกตะกอนจะดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ดังต่อไปนี้ คือ

1. ชนิดของอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำ

เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำเป็นสารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ที่มีสภาพประจุเป็นได้ทั้งประจุบวกหรือประจุลบ ดังนั้นหากทราบชนิดของอนุภาคคอลลอยด์จะได้เลือกสารโคแอกูแลนท์ที่ช่วยในการตกตะกอนได้อย่างเหมาะสม

2. ชนิดของสารโคแอกูแลนท์

สารโคแอกูแลนท์แต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมกับอนุภาคคอลลอยด์ต่างชนิดไม่เหมือนกันตลอดจนคุณสมบัติในการตกตะกอน และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำ ลักษณะของฟล็อก ความเร็วในการตกตะกอน ราคา ความยากง่ายในการใช้งาน ดังนั้นจะต้องมีการเลือกสารโคแอกูแลนท์ใช้งานให้เหมาะสมกับประเภทของอนุภาคคอลลอยด์ที่ต้องการให้ตกตะกอน

3. พีเอช

สารโคแอกูแลนท์ที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิด จะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่พีเอชหนึ่งเท่านั้น ถ้าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่อยู่ในช่วงพีเอชนี้ ผลของการตกตะกอนจะเกิดขึ้นไม่ดี จึงจะต้องมีการปรับค่าพีเอชให้ได้ตามต้องการ ซึ่งขึ้นอยู่กับแต่ละประเภทของสารเคมี

4. ปริมาณสารที่ใช้ช่วยในการตกตะกอน

มีความสำคัญเกี่ยวกับความสามารถในการตกตะกอน เพราะธรรมชาติของสารใดก็ตาม ถ้าผลคูณอิออนโปรดัก (Ion Product) ไม่เกินค่าความสามารถในการละลาย (K_{sp}) ของสารนั้นแล้ว สารนั้นจะไม่ตกผลึกเป็นตะกอนออกมาในน้ำ แต่ถ้าเกินค่า K_{sp} มันจะตกผลึกตะกอนออกมาทันที ดังนั้นปริมาณสารที่ช่วยในการตกตะกอนจะต้องเหมาะสมต่อการตกตะกอนในแต่ละครั้ง ถ้ามากเกินไปก็จะทำให้อนุภาคกลับมีเสถียรภาพใหม่ ดังได้กล่าวไว้แล้วในกลไกการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์

5. เวลาและความเร็วของการกวนผสม

การทำให้สารโคแอกูแลนท์ละลายน้ำ และกระจายตัวอย่างทั่วถึงในน้ำเพื่อให้เกิดการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์นั้น จำเป็นจะต้องกวนน้ำเพื่อให้เกิดความปั่นป่วนอย่างรวดเร็วด้วยเวลาอันสั้น เป็นการทำให้สารโคแอกูแลนท์กระจายตัวออกไปทำปฏิกิริยากับอนุภาคคอลลอยด์ได้อย่างทั่วถึง และยังเป็นการช่วยประหยัดเวลา เพราะปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้ใช้เวลาน้อยกว่ากระบวนการรวมตะกอน ดังนั้นการใช้การกวนที่รุนแรงมากเท่าใด ก็จะเป็นการช่วยประหยัดเวลามากขึ้นเท่านั้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อต้องการให้เกิดการรวมตะกอน จำเป็นต้องใช้การกวนอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้ตะกอนแตก แต่จะใช้เวลาที่นานขึ้นเพื่อเปิดโอกาสให้ตะกอนที่เกิดขึ้น มีโอกาสสัมผัสซึ่งกันและกันได้มากที่สุด

2.4 โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์

สารเคมีที่นิยมใช้ในการตกตะกอนในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีอะลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ และกลุ่มที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ อะลูมิเนียมโคแอกูแลนท์ ได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟต อะลูมิเนียมคลอไรด์ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และโซเดียมอะลูมิเนต กลุ่มไอร์ออนโคแอกูแลนท์ ได้แก่ เหล็ก (II) คลอไรด์ เหล็ก (III) คลอไรด์ เหล็ก (III) ซัลเฟต เป็นต้น

อะลูมิเนียมและไอร์ออนเป็นโคแอกูแลนท์ที่มีประสิทธิภาพในการตกตะกอน ราคาไม่แพง เมื่ออยู่ในน้ำจะมีความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก และจะถูกควบคุมปฏิกิริยาโดยพีเอชในระบบ ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้น คือ หากพีเอชอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสม จะทำให้กระบวนการตกตะกอนมีประสิทธิภาพต่ำหรือไม่มีประสิทธิภาพเลย เช่น การใช้อะลูมิเนียมซัลเฟตเป็นตัวโคแอกูแลนท์เพียงปริมาณเล็กน้อยจะทำให้ค่าพีเอชลดต่ำลงมาก ดังสมการต่อไปนี้

$$Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \longrightarrow 2Al(OH)_3 + 3H_2SO_4$$

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้แก่ สารประกอบไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะตกตะกอน และกรดซัลฟูริค จะทำให้พีเอชลดต่ำลงอย่างมาก ซึ่งมีผลต่อสภาพด่างในน้ำ ดังนั้น จึงต้องมีการเติมสารเคมีเพื่อปรับสภาพของน้ำไม่ให้มีค่าพีเอชที่ต่ำจนเกินไป ดังสมการ

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4 + 6CO_2$$

โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ เป็นสารเคมีที่มีสูตรโมเลกุลเรียงต่อกันเป็นสายยาว มีสูตรโมเลกุลดังนี้

$$[Al_n(OH)_mCl_{3n-m}]_i \quad \text{เมื่อ } n = 2,\ 2.7 < m < 3.9,\ I > 0$$

โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ เป็นโคแอกูแลนท์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์ เมื่อมีการสร้างตะกอนเกิดขึ้น คลอไรด์อิออนที่เกิดขึ้นจะเข้ารวมกับตะกอน จึงไม่มีปัญหาสภาพเป็นกรดมากเหมือนกับโคแอกูแลนท์อื่นๆ จึงไม่มีผลเปลี่ยนแปลงค่าสภาพด่าง และจำนวนสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพน้ำก็ใช้น้อยกว่าด้วย ดังสมการต่อไปนี้

$$Al_2(OH)_3Cl_3 + 1.5\ Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow 2Al(OH)_3 + 1.5\ CaCl_2 + 3CO_2$$

2.4.1 กลไกการตกตะกอนด้วยโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์

โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ เป็นสารเคมีที่อยู่ในรูปของแข็ง หรือสารละลาย เมื่อโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ อยู่ในน้ำจะเกิดการแตกตัวได้ Al^{+3} ที่มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอิออน จึงเกิดการไฮโดรไลซิสของ อะลูมิเนียมได้สารต่างๆ เช่น $Al_{13}(OH)_{34}^{+5}$, $Al_7(OH)_{17}^{+4}$, $Al_6(OH)_{15}^{+3}$ เป็นต้น โดยอะลูมิเนียมหลายอะตอมเหล่านี้เรียกว่า Polymeric Hydroxo Complex ซึ่งมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ไม่เสถียร ทำให้เกิดการรวมกลุ่มกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น แล้วจึงตกตะกอน สำหรับการสร้างตะกอนพีเอชของน้ำจะมีความสำคัญต่อประจุที่เกิดขึ้นจากการไฮโดรไลซิส เนื่องจากถ้าพีเอชต่ำสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุบวกจะเกิดขึ้นมาก จะให้ผลในการเพิ่มปริมาณและอัตราเร็วในการตกตะกอน นอกจาก Al^{+3} จะจับกับอนุภาคคอลลอยด์แล้ว Al^{+3} ยังทำปฏิกิริยากับอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำ กลายเป็น $Al(OH)_3$ เป็นตะกอนเล็กๆ และเนื่องจาก Al^{+3} มีประสิทธิภาพสูงในการทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ ดังนั้น เมื่อเติมโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ลงในน้ำจะต้องผสมกันอย่างรวดเร็วทันที แล้วจึงลดอัตราเร็วการกวนให้ช้าลง เพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสสัมผัสและจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น แล้วจึงแยกตะกอนที่เกิดขึ้นออกมา โดยการปล่อยให้ตกตะกอนเองตามธรรมชาติ

2.4.2 คุณสมบัติของโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์

โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ เมื่อเป็นโคแอกูแลนท์จะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือ

1. มีอำนาจในการสร้างตะกอนและการรวมตัวของตะกอนสูง และการตกตะกอนจะเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่าสารส้ม

2. สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากมีให้เลือกใช้ทั้งแบบที่เป็นสารละลาย และแบบที่เป็นผลึกของแข็ง ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี
3. ในการทำงานโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ จะมีช่วงพีเอชในการเกิดปฏิกิริยาที่กว้างกว่าโคแอกูแลนท์ชนิดอื่นๆ ปกติพีเอชที่เกิดการตกตะกอนจะอยู่ในช่วง 6 - 9 แต่ในบางกรณีอาจจะตกตะกอนได้ในช่วงพีเอช 5 - 10
4. โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ สามารถสร้างตะกอนได้เร็วกว่าสารส้ม โดยใช้ระยะเวลาการกวนเร็วที่น้อยกว่า
5. การใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์จะไม่ทำให้พีเอชของน้ำลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับการใช้สารส้ม

2.4.3 ลักษณะของโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ใช้ในการทดลอง

เป็นสารละลายใสไม่มีสี หรือมีสีเหลืองจางๆ จนถึงสีน้ำตาลจางๆ ซึ่งข้อมูลจำเพาะของโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ข้อมูลจำเพาะของโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลจำเพาะของโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ใช้ในการทดลอง

อะลูมินา (Al_2O_3)	10 - 11% w/w
เบสิคซิตี้ (Basicity)	45 - 65% w/w
ซัลเฟต (Sulfate)	ไม่เกิน 35%
พีเอช (1% w/v)	3.5 - 5.0
ความถ่วงจำเพาะ ที่ 20 องศาเซลเซียส	ไม่น้อยกว่า 1.19
เหล็ก (Fe)	ไม่เกิน 0.01%
ไนโตรเจน (Nitrogen as NH_3)	ไม่เกิน 100 พีพีเอ็ม
แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 25 พีพีเอ็ม
ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 10 พีพีเอ็ม
สารหนู (As)	ไม่เกิน 5 พีพีเอ็ม
ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.2 พีพีเอ็ม
โครเมียม (Cr)	ไม่เกิน 10 พีพีเอ็ม

ที่มา : บริษัท ไทยพีเอซี อินดัสตรี จำกัด

2.5 วัสดุแกนเกาะ

การเลือกวัสดุที่เป็นแกนเกาะให้กับโคแอกูแลนท์จะต้องพิจารณาถึงลักษณะของขนาดอนุภาค และปริมาณที่ใช้ เพื่อให้เกิดกระบวนการโคแอกูเลชันที่เหมาะสมที่สุด คือ ใช้ปริมาณโคแอกูแลนท์น้อยที่สุด ตะกอนที่เกิดขึ้นสามารถตกตะกอนได้อย่างรวดเร็ว และน้ำใสที่ได้หลังจากทิ้งให้ตกตะกอนแล้วแล้วจะต้องเกิดความขุ่นน้อยที่สุด เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงพิจารณาเลือกวัสดุที่เป็นแกนเกาะทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ แกลบเผา ซิลิกาอะลูมินา และเถ้าลอย ซึ่งองค์ประกอบของแกลบเผา ซิลิกาอะลูมินา และเถ้าลอย ดังแสดงในตารางที่ 2.4 – 2.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.4 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแกลบเผา

Constituent	% weight
SiO_2	86.9 – 97.3
K_2O	0.58 – 2.50
Na_2O	0.00 – 1.75
CaO	0.20 – 1.50
MgO	0.12 – 1.96
Fe_2O_3	Trace – 0.54
P_2O_5	0.20 – 2.85
SO_3	0.10 – 1.13
Cl	Trace – 0.42

ที่มา : เพ็ญศิริ นวเศรษฐกุล (2539)

ตารางที่ 2.5 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของซิลิกาอะลูมินา

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์
Al_2O_3	55 – 63%
SiO_2	12 – 16%
เกลือละลายน้ำ	7 – 13%
ความชื้น	10%
แอนทราควินโนน	4%

ที่มา : โรงงานผลิตสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จังหวัดระยอง

ตารางที่ 2.6 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบออกไซด์หลักของเถ้าลอยถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

Major Oxide (%)	Fly Ash (ESPA)				
	Unit 3/1	Unit 6/1	Unit 9/1	Unit 9/2	Unit 9/3
LOI	1.38	0.80	1.90	1.49	2.98
SiO_2	38.27	46.02	46.82	46.42	44.86
TiO_2	0.38	0.44	0.43	0.43	0.41
Al_2O_3	18.60	26.44	26.26	26.29	25.88
Fe_2O_3	20.13	10.84	10.47	10.46	10.92
MgO	3.19	1.96	2.05	2.08	2.05
CaO	14.63	9.43	8.95	8.49	9.01
MnO	0.08	0.06	0.07	0.05	0.06
K_2O	2.23	2.58	2.74	2.72	2.76
NaO_2	0.61	0.23	0.14	0.33	0.68
P_2O_5	0.16	0.11	0.11	0.11	0.15

ที่มา : อนุวัฒน์ เรืองปุนฉาย (2539)

2.5.1 ข้อดีของวัสดุแกนเกาะทั้ง 3 ชนิด

1. เป็นวัสดุที่เหลือทิ้ง คือ แกลบเผา เป็นวัสดุที่เหลือจากการเผาแกลบให้เป็นเชื้อเพลิงจากโรงสีข้าว ซิลิกาอะลูมินา เป็นวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และขี้เถ้าลอยเป็นวัสดุที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้า
2. วัสดุทั้งสาม มีคุณสมบัติเป็นเบส ซึ่งเป็นตัวที่ช่วยปรับพีเอชของน้ำ เนื่องจากโพลิอะลูมิเนียม-คลอไรด์ เมื่อละลายน้ำจะให้ไฮโดรเจนอิออน ซึ่งจะทำให้พีเอชของน้ำลดลง ดังนั้นการใส่วัสดุแกนเกาะที่มีคุณสมบัติเป็นเบสนั้นจะเป็นการช่วยปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชนิษฐา เจริญลาภ (2544) ศึกษาการกำจัดสีดิสเพิร์ส สีไดเร็กท์ และสีรีแอกทีฟ จากน้ำย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี ซึ่งใช้สารตกตะกอน 5 ชนิด คือ อะลูมิเนียมซัลเฟต โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริคคลอไรด์ เฟอร์ริคซัลเฟต และเฟอร์รัสซัลเฟต พบว่าสีไดเร็กท์ สารตกตะกอนทั้ง 5 ชนิดมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน โดยสีไดเร็กท์ตกตะกอนได้เกือบ 100% ส่วนสีดิสเพิร์ส พบว่าโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์มีประสิทธิภาพสูงสุดในการตกตะกอนสี คือ 97% และเฟอร์รัสซัลเฟตมีประสิทธิภาพต่ำสุด คือ ประมาณ 41% สำหรับสีรีแอกทีฟ พบว่าสารตกตะกอนทั้ง 5 ชนิดนี้ ไม่สามารถตกตะกอนสีรีแอกทีฟได้เลย ต้องอาศัยสารช่วยในการตกตะกอน

สวีณา เกตุสวรรณ (2543) ศึกษาการลดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริคซัลเฟต และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยมีสารช่วยในการตกตะกอนชนิดแอนอิออน และแคทอิออน พบว่าสารสร้างตะกอนที่ลดค่าซีโอดีน้ำเสียจากบ่อพักได้สูงสุด คือ เฟอร์ริคซัลเฟต 250 มก./ล. เมื่อใช้สารช่วยตกตะกอนชนิดแคทอิออน 3.5 มก/ล. และพีเอชประมาณ 7 ลดค่าซีโอดีได้ 57.8% ส่วนโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ใช้ 2,000 มก./ล. ร่วมกับสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทอิออน 5.0 มก./ล. ที่พีเอชประมาณ 10 ลดค่าซีโอดีได้ 51.9% และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ใช้ 400 มก./ล. ร่วมกับสารช่วยตกตะกอนแคทอิออน 3.50 มก./ล. ที่พีเอชประมาณ 7.5 ลดค่าซีโอดีได้ 48.3%

Suntud และ Siwaree (2000) ศึกษาการกำจัดสีน้ำกากส่าจากโรงงานสุราแสงโสม ด้วยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับวิธีการตกตะกอนทางเคมี โดยระบบชีวภาพนั้นใช้บ่อไร้อากาศอย่างง่าย พบว่าที่เวลากักเก็บ 220 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ซีโอดี เป็น 90% และ46% ตามลำดับ จากการตรวจสอบมวลโมเลกุลของสี พบว่ามวลโมเลกุลของสีน้ำกากส่าสดมีมวลโมเลกุลที่มากกว่าน้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดทางชีวภาพ และจากการตกตะกอนสีน้ำกากส่าด้วยสารเคมี คือ สารส้ม ปูนขาว และเฟอร์ริคคลอไรด์ จะแบ่งการทดลองในขั้นนี้เป็น 2 การทดลอง โดยการทดลองแรกจะไม่มีระบบเติมอากาศ พบว่าน้ำกากส่าสดนั้นสารตกตะกอนที่เหมาะสม คือ ปูนขาว โดยใช้ในปริมาณ 83 กรัม/ลิตร สามารถกำจัดสีได้ 94.31% ส่วนน้ำกากส่าที่ผ่านบ่อไร้อากาศ สารตกตะกอนที่เหมาะสม คือ เฟอร์ริคคลอไรด์ โดยใช้ปริมาณ 29 กรัม/ลิตร สามารถกำจัดสีได้ 98.72% การทดลองส่วนที่สองนี้ จะเพิ่มระบบเติมอากาศโดยใส่เชื้อจุลินทรีย์และไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ แล้วบำบัดน้ำกากส่าสด และน้ำกากส่าที่ผ่านบ่อไร้อากาศอีก 96 ชั่วโมง พบว่าเมื่อใส่เชื้อจุลินทรีย์ในการกำจัดสีน้ำกากส่าสดต้องใช้ปูนขาว 60 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดสี 95.25% แต่หากไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์จะใช้ปูนขาวเพียง 50 มก./ล. ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ได้ คือ 93.36% สำหรับน้ำกากส่าที่ผ่านบ่อไร้อากาศ แล้วนำมาผ่านระบบเติมอากาศพบว่า กรณีใส่เชื้อจุลินทรีย์ ต้องใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ 12.5 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดสี 99.65% และเมื่อไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ ต้องใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ 20 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่ได้ คือ 98.85%

นภา ศิวิรังสรรค์ (2542) ศึกษาการกำจัดสีน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอโดยใช้โพลีเมอร์ประจุบวก 2 ชนิด คือ Lamfloc 1525 และ Zentrifloc 95 ในการกำจัดสีจากสารละลายสีย้อม ซึ่งเตรียมในห้องปฏิบัติการ และใช้โพลีเมอร์ชนิดประจุบวก ที่เหมาะสมร่วมกับโพลีเมอร์ชนิดประจุลบ คือ Lamfloc 7985 และใช้สารส้มเป็นตัวเปรียบเทียบในการกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอ สีย้อมที่ใช้มี 2 ประเภท คือ สีย้อมแวต และสีย้อมรีแอกทีฟ โทนสีเหลือง และโทนสีน้ำเงิน จากการศึกษาพบว่าพีอช และปริมาณที่เหมาะสมของ Lamfloc 1525 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีมากกว่า Zentrifloc 95 และการกำจัดสีน้ำทิ้งพบว่า Lamfloc 7985 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพียงเล็กน้อย และ Lamfloc 1525 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่ดีกว่าสารส้ม โดยให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่า 90%

อภิชาติ หิรัญจิตต์ (2539) ศึกษาการกำจัดสีรีแอกทีฟจากน้ำเสียย้อมผ้าด้วยกระบวนการร่วมของการดูดติดผิว และโคแอกูเลชัน การทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์ เป็นสีรีแอกทีฟ 2 โทนสี คือ สีแดง และสีน้ำเงิน สารดูดติดผิวที่ใช้ คือ แอกติเวทเต็ดคาร์บอนผง และเถ้าลอยจากปล่องโรงไฟฟ้าถ่านหินลิกไนต์ ใช้สารส้มเป็นโคแอกูแลนท์ และใช้โพลีเมอร์เป็นโคแอกูแลนท์เอด พบว่า

- ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียโทนสีน้ำเงิน และโทนสีแดง ได้ 95% เท่ากัน แต่ต้องเติมแอกติเวทเต็ดคาร์บอนผงไม่เท่ากัน คือ 600 และ800 มก./ล. สำหรับกำจัดน้ำเสียโทนสีน้ำเงิน และโทนสีแดง ตามลำดับ
- ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของเถ้าลอยไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับตัวอย่างของเถ้าลอย เนื่องจากเถ้าลอยมีความแตกต่างกันสูงเกินไปในแต่ละภาชนะบรรจุ
- น้ำใสส่วนบนที่ได้จากการตกตะกอนหลังกระบวนการดูดติดผิวมีลักษณะที่แตกต่างกัน คือ กรณีใช้เถ้าลอย น้ำที่ได้จะมีความใสมาก ไม่จำเป็นต้องใช้สารส้มในการช่วยตกตะกอน แต่กรณีที่ใช้แอกทิเวทเต็ดคาร์บอนผง นั้นส่วนใหญ่ตกตะกอนได้ดี แต่มีเพียงบางส่วนที่เหลือเป็นของแข็งแขวนลอยในน้ำส่วนบน และทำให้น้ำมีสีดำสูง ดังนั้นต้องใช้สารส้มช่วยในการตะกอนปริมาณ 30 มก./ล.

อานนท์ ดุษฎีพรรณ์ (2538) ได้ทำการศึกษาสภาพการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำกากส่าโดยระบบหมักยูบีเอฟ และระบบเคมีไฟฟ้าในการขจัดสารอินทรีย์และสี จากผลการทดลองพบว่าระบบยูบีเอฟไม่สามารถขจัดสีน้ำกากส่าได้ แต่น้ำเสียที่ออกจากระบบยูบีเอฟที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 7.53 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ได้นำไปบำบัดต่อด้วยระบบเคมีไฟฟ้า น้ำเสียที่นำมาทดลองมีความเข้มข้นสารอินทรีย์ 10.82 มก.ซีโอดี/ล. ผลการทดลองสรุปได้ว่า HRT ที่เหมาะสม คือ 0.66 ชั่วโมง โดยสามารถลดสีได้ 89.90%

Altinbas และคณะ (1995) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ ซึ่งน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียรวม โดยสีที่ใช้ส่วนมากจะเป็นประเภท สีรีแอกทีฟ และสีไดเร็กท์ การบำบัดใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมี และระบบแอ็กติเว็ตเต็ดสลัดจ์ ตามลำดับ โดยสารตกตะกอนที่ใช้ คือ สารส้ม เฟอร์ริกคลอไรด์ ปูนขาว และแคลเซียมคาร์บอเนต จากผลการทดลองพบว่าที่พีเอช 6.0 การใช้สารส้มร่วมกับปูนขาว จะให้ผลดีที่สุดในการลดค่าซีโอดี โดยใช้สารส้ม 184 มก./ล. และปูนขาว 1,000 มก./ล. สามารถลดซีโอดีได้ 42% ส่วนการใช้สารส้มร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนต เฟอร์ริกคลอไรด์ร่วมกับปูนขาว และเฟอร์ริกคลอไรด์ร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนต สามารถลดค่าซีโอดีลงได้ 40% 32 - 45% และ 35% ตามลำดับ และเมื่อนำน้ำเสียขั้นแรกมาบำบัดด้วยระบบแอ็กติเว็ตเต็ดสลัดจ์ สามารถที่จะลดค่าซีโอดี ได้ 60 - 90% ซึ่งจากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้สารส้มในการตกตะกอนแล้วตามด้วยการบำบัดด้วยระบบแอ็กติเว็ตเต็ดสลัดจ์ สามารถกำจัดซีโอดี ได้ถึง 94%

Dai (1994) ศึกษาอิทธิพลของศักย์ซีต้าของแอ็คติเว้ตเต็ดคาร์บอนที่มีต่อการดูดติดผิวของสีย้อมประจุบวก ปรากฏว่าไฟฟ้าสถิตย์ที่กระทำต่อกันระหว่างโมเลกุลสีย้อมประจุบวกกับผิวของแอ็คติเว้ตเต็ดคาร์บอนส่งผลต่อความสามารถในการดูดติดผิว กล่าวคือ เมื่อศักย์ซีต้าของแอ็คติเว้ตเต็ดคาร์บอนลดต่ำกว่า -30 มล.โวลท์ ความสามารถในการดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้น และความสามารถในการดูดติดผิวของแอ็คติเว้ตเต็ดคาร์บอนกับสีย้อมประจุบวก จะลดต่ำลงไม่มากนัก ในช่วงระหว่าง -30 ถึง +60 มล.โวลท์ แต่เมื่อศักย์ซีต้ามากว่า +60 มล.โวลท์ แล้วความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลงอย่างมาก

Koprivanac และคณะ (1993) ศึกษาการใช้ฟล็อคคูแลนท์ที่เป็นสารอินทรีย์ในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟด้วยกระบวนการโคแอกูเลชัน โดยทดลองใช้ฟล็อคคูแลนท์สารอินทรีย์ประจุบวกเปรียบเทียบกับเฟอร์ริคคลอไรด์ และใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวปรับพีเอช กวนเร็ว ค่า G 500 นาน 10 นาที กวนช้า ค่า G 100 นาน 30 นาที ด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก การใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ดังกล่าว ในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟในน้ำเสีย มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียประมาณ 72% ที่พีเอช 2.5 อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งสรุปได้ว่าไม่เหมาะสมในการนำมาใช้กำจัดสีย้อมรีแอกทีฟ การใช้ฟล็อคคูแลนท์ประจุบวก สามารถกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟให้ประสิทธิภาพเกือบสมบูรณ์ร้อยเปอร์เซ็นต์ ที่มีพีเอช 7 อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะลดประสิทธิภาพการใช้กระบวนการตกตะกอน ในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟอุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรเกิน 30 องศาเซลเซียส

Veronica และคณะ (1993) แยกเมลานอยดินในน้ำกากส่า โดยใช้สารรวมตะกอนอนินทรีย์ชนิดการค้าที่มีสูตรเคมี $[Fe_2(OH)_n(SO_4)_{3-n/2}]_m$ ประสิทธิภาพในการขจัดสี 32% 87% และ94% เมื่อใช้ขจัดสีน้ำกากส่าสด น้ำทิ้งที่ออกจากระบบย่อยสลายแบบชีวภาพ (Biodigester) และน้ำทิ้งที่ผ่านทั้งระบบย่อยสลายแบบชีวภาพ และ lagoon ตามลำดับ ค่า ทีโอซี ลดลง 21% สำหรับน้ำกากส่าสด และประมาณ 73% สำหรับระบบย่อยสลายแบบชีวภาพ และระบบที่ผ่านทั้งระบบย่อยสลายชีวภาพและระบบ lagoon ในน้ำกากส่าสดมี

ปริมาณฟลูออไรด์อิออนอยู่มากพอสมควร ทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดสีลดลง การเติมแคลเซียมออกไซด์ 30 กรัม/ลิตร น้ำกากส่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขจัดสีเพิ่มขึ้นเป็น 93%

กาญนิถา คลองธรรมชาติ (2535) ศึกษาการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ในการกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม ตัวแปรที่ศึกษา คือ พีเอช ปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และปริมาณโพลีเมอร์ โดยการศึกษาใช้น้ำเสียจริง คือ น้ำเสียที่ออกจากหม้อย้อมโดยตรง แบ่งน้ำเสียตามประเภทสีย้อมเป็น 4 ประเภท ได้แก่ สีรีแอกทีฟ เอซิด ไดเร็กท์ และดิสเพิร์ส พบว่าในการกำจัดสีน้ำเสีย ขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อม ชนิดโทนสี พีเอชที่เหมาะสม ปริมาณโพลีอะลูมิเนียม และปริมาณโพลีเมอร์ชนิดประจุบวก ชื่อทางการค้า Zetag - 63 กล่าวคือ สีย้อมที่ไม่ละลายน้ำจะถูกกำจัดได้ง่ายกว่าสีที่ละลายน้ำ และน้ำเสียสีย้อมแต่ละประเภทมีค่าพีเอชที่เหมาะสมแตกต่างกัน หรือประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับประเภทสีย้อม โทนสี พีเอชที่เหมาะสม ปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และโพลีเมอร์ที่เหมาะสม โดยผลการทดลองเมื่อใช้โพลีเมอร์ 0.2 - 0.5 มก./ล. ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ผลการกำจัดสีน้ำเสียสีย้อมประเภทต่างๆ

สี	ปริมาณ PACl (มก./ล.)	การกำจัดสี (%)	การลดค่าซีโอดี	การลดค่าตะกอนแขวนลอย (%)
รีแอคทีฟ	400 - 500	0.3 - 59.7	2.6 - 27.6	3.8 - 40.6
แอซิด	500 - มากกว่า 3,000	8.2 - 84.5	10.6 - 58.0	6.9 - 78.8
ไดเร็กท์	600 - 3,000	7.6 - 81.9	6.6 - 46.3	11.9 - 41.0
ดิสเพิส	100 - 1,500	63.5 - 96.1	54.2 - 95.0	57.1 - 98.0

การทดลองนี้ น้ำเสียสีแต่ประเภทมีความเข้มของสีสูงไม่เท่ากัน แม้ผลการทดลองที่ได้จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูง ก็ไม่อาจกล่าวได้ว่า จะสามารถลดความเข้มของสีให้อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจได้ ในทำนองเดียวกัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และตะกอนแขวนลอยที่สูง ก็ไม่อาจบอกได้ว่าค่าซีโอดี และตะกอนแขวนลอย จะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน การประเมินราคาสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการนี้ประมาณ 30 - 75 30 - 546 36 - 202 และ 7 - 93 บาทต่อลูกบาศ์กเมตร สำหรับสีรีแอคทีฟ สีแอซิด สีไดเร็กท์ และสีดิสเพิส ตามลำดับ

Kuo (1992) ศึกษาการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการโคแอกูเลชัน โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับเฟอร์รัสซัลเฟต ซึ่งเรียกว่า "เฟนตอน รีเอเจนท์" โดยทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อม 5 ประเภท คือ สีย้อมรีแอกทีฟ สีย้อมดิสเพอร์ส สีย้อมเอสิด สีย้อมไดเรคท์ และสีย้อมเบสิค ซึ่งใช้กันมากในอุตสาหกรรม ในกรณีศึกษาดังกล่าวพบว่าให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์มากกว่า 95% โดยพีเอชที่

เหมาะสมขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อม ซึ่งจะประมาณ 3.5 หรือต่ำกว่า ส่วนปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเฟอร์รัสซัลเฟตขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อม คือ 584 และ 250 มก./ล. ตามลำดับสำหรับสีย้อมรีแอกทีฟ 292 และ 83 มก./ล. ตามลำดับสำหรับสีย้อมไดเรคท์ 875 และ 500 มก./ล. ตามลำดับสำหรับสีย้อมเอซิด 292 และ 500 มก./ล. ตามลำดับสำหรับสีย้อมเบสิค 292 และ 333 มก./ล. ตามลำดับสำหรับสีย้อมดิสเพอร์ส การเพิ่มอุณหภูมิช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เร็วขึ้น และควรอยู่ประมาณ 50 องศาเซลเซียส การใช้วิธีนี้กำจัดสีในน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม หรือโรงย้อมผ้า พบว่าโครงสร้างของสีย้อมแต่ละประเภทมีอิทธิพลต่อการควบคุมปัจจัยต่างๆ ให้เหมาะสมต่อการกำจัดสี

Nhuphan (1992) ทำการศึกษาการกำจัดสีจากโรงงานฟอกยีนส์ โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วย เฟอร์รัสซัลเฟต เฟอร์ริกซัลเฟต ร่วมกับโพลีเมอร์ ประจุบวก ที่มีชื่อการค้าว่า T3300 โดยทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ แล้วนำผลที่ได้มาใช้กับน้ำเสียที่เกิดจากการฟอกย้อมยีนส์จริง จากการศึกษาพบว่าผลการกำจัดสีจากทั้งสองสภาวะใกล้เคียงกัน โดยปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่เหมาะสม คือ 200 มก./ล. สามารถกำจัดสีได้ 95.55% และ94% ตามลำดับ และเมื่อใช้โพลีเมอร์ร่วมในการตกตะกอนพบว่าสามารถกำจัดสีได้ดีขึ้น คือ 98% และ95% ตามลำดับ เมื่อใช้โพลีเมอร์ 8 – 10 มก./ล.

Henry และคณะ (1987) ได้แสดงผลการทดลองการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียฟอกย้อมผสมโดยการทำจาร์เทสต์ด้วยสารส้มอย่างเดียว สารส้มกับปูนขาว เฟอร์รัสซัลเฟตอย่างเดียว เฟอร์รัสซัลเฟตกับปูนขาว ซึ่งสามารถกำจัดสีย้อมผสมดังกล่าวได้ 97.6% 97.6% 96.1% และ 99.1% ตามลำดับ โดยปริมาณสารส้มอย่างเดียว 600 มก./ล. สารส้ม 40 มก./ล. กับปูนขาว 500 มก./ล. เฟอร์รัสซัลเฟตอย่างเดียว 2,000 มก./ล. และเฟอร์รัสซัลเฟต 2,600 มก./ล. กับปูนขาว 5,000 มก./ล. ตามลำดับ

Mckay และคณะ (1987) ศึกษาสารดูดติดผิวราคาถูกมาใช้กำจัดสีย้อมในน้ำเสีย 6 สาร คือ เปลือกไม้สัก แกลบข้าว เศษฝ้าย ถ่าน เส้นผม และเบนโทไนท์ ให้ผลการทดลองออกมาว่า เบนโทไนท์เกิดพันธะที่แข็งแรงในการดูดติดสีย้อม ทำให้การทำรีเจนเนอเรตเป็นไปได้ยาก ส่วนแกลบข้าว เปลือกไม้สัก เศษฝ้าย และเส้นผม สามารถดูดติดผิวกับสีย้อมเบสิคเท่านั้น ทั้งยังเกิดปรากฏการแลกเปลี่ยนประจุ และพันธะเคมีในขณะที่มีการดูดติดผิวอีกด้วย

Hayase และคณะ (1984) ได้ทำการศึกษาพบว่าเมื่อใช้เอนไซม์กลูโคสออกซิเดสขจัดสีเมลานอยดินในสภาวะที่เหมาะสมจะขจัดสีเมลานอยดินได้ถึง 65% ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับสารตั้งต้นทำให้เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และย่อยสลายเมลานอยดิน จากเหตุผลนี้เขาจึงใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาขจัดสีเมลานอยดิน พบว่าเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด คือ 6.72% ที่พีเอชสองระดับ คือ พีเอช 7.0 และพีเอช 10.0 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 ชั่วโมง เมลานอยดินจะ

ถูกย่อยสลายลง 64% และ 97% ตามลำดับ เมลานอยดินที่ถูกย่อยสลายลงนี้ มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 3,500 – 5,300

สมคิด วงศ์ไชยสุวรรณ (2525) ศึกษาการใช้กระบวนการโคแอกูเลชันกำจัดสีย้อมประเภทต่างๆ ในน้ำเสียย้อมผ้า โดยเลือกแมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮเดรตเบสิคกับปูนขาว สารส้ม ปูนขาว เป็นโคแอกูแลนท์ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดขึ้นอยู่กับสีย้อม กล่าวคือ สีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ สีย้อมแวท สีย้อมซัลเฟอร์ สีย้อมอะโซอิก สีย้อมเมทัลลิค จะถูกกำจัดได้ง่าย ในขณะที่สีย้อมที่ละลายน้ำได้ดีนั้นกำจัดได้ยากมาก เช่น สีย้อมรีแอกทีฟ ส่วนสีย้อมไดเร็ค ซึ่งไม่เด่นชัดว่าละลายน้ำหรือไม่นั้นถูกกำจัดได้ที่ปริมาณโคแอกูลแลนท์สูงๆ นอกจากนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการโคแอกูเลชันนั้นยังขึ้นกับโทนสี และชนิดของโคแอกูแลนท์อีกด้วย

Chuang และ Lai (1978) ได้ทำการทดลองหาวิธีการกำจัดสีน้ำกากของโรงงานผลิตเอกอฮอล์ในไต้หวัน โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ขั้นตอน ซึ่งในการทดลองขั้นที่ 1 – 3 นั้น จะเป็นการคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดค่าบีโอดีของน้ำกากส่า ส่วนขั้นตอนที่ 4 จะเน้นการกำจัดสีน้ำตาลเข้มโดยวิธีทางเคมีเพื่อตกตะกอนสีน้ำตาลเข้มออก ซึ่งทำการทดลองโดยการเจือจางน้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดในขั้นตอนที่ 3 ด้วยน้ำ 10 เท่า แล้วปรับพีเอชให้เท่ากับ 7 แล้วนำมาตกตะกอนด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต เฟอร์ริคซัลเฟต และพวกสารตกตะกอนอินทรีย์สังเคราะห์ พบว่าสารเคมีที่ให้ผลดีที่สุดในการตกตะกอนสีน้ำตาลเข้มของน้ำกากส่า คือ แอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้ปริมาณ 1.5 กรัม/ 1 ลิตร น้ำกากส่า

สาขาวิจัยสิ่งแวดล้อม และทรัพยากร (2524) ทำการทดลองหาแนวทางการบำบัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุราที่เหมาะสมในประเทศไทย โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนที่ 1 นั้นใช้ระบบไร้อากาศในการลดค่าบีโอดี และซีโอดี การทดลองขั้นที่ 2 นั้นใช้ระบบให้อากาศในการลดค่าบีโอดี และซีโอดี ส่วนการทดลองในขั้นตอนที่ 3 เป็นวิธีการทางเคมี ในการตกตะกอนสีน้ำกากส่าด้วยสารเคมี โดยทดลองใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เช่น สารส้ม ปูนขาว และเฟอร์ริคคลอไรด์ ผลการทดลองพบว่า สารเคมีที่เหมาะสมที่สุด คือ สารส้ม รองลงมา คือ เฟอร์ริคคลอไรด์ และปูนขาว ปริมาณสารส้มที่พอเหมาะในการตกตะกอนสีน้ำกากส่า คือ 5 กิโลกรัม ต่อน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร ที่ผ่านระบบบำบัดในขั้นที่ 2 หรือ 35 กิโลกรัมน้ำกากส่าสด แต่ข้อเสียของสารเคมีดังกล่าว คือ ตะกอนที่เกิดขึ้นนั้นมีลักษณะการจมตัวที่ยาก