



2.1 ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge System)

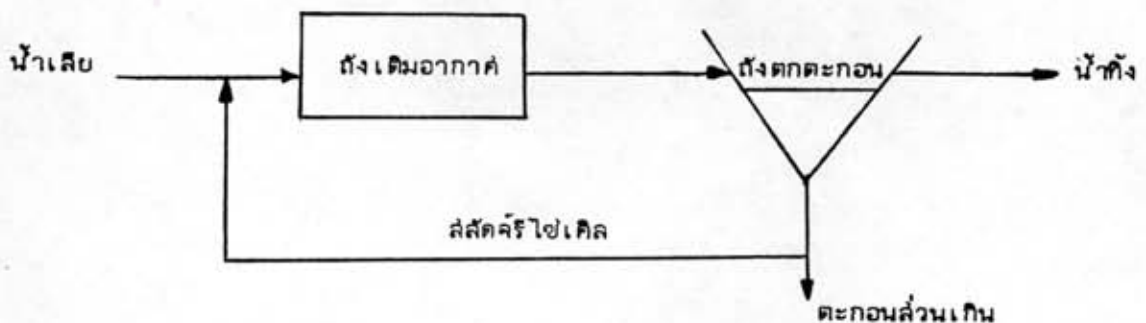
2.1.1 พื้นฐานของระบบ

ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักชีววิทยาแบบหนึ่งซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย หลักการของระบบนี้เป็นการกำจัดน้ำเสียด้วยจุลชีพ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรีย ระบบนี้เป็นวิธีที่เลียนแบบธรรมชาติและอาศัยแบคทีเรียประเภท aerobic bacteria ซึ่งใช้ออกซิเจนในการสันดาปอาหาร อันเป็นสารอินทรีย์ที่เป็นต้นเหตุของความสกปรกในน้ำเสียนั่นเอง การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์โดยใช้ออกซิเจนเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (10, 11, 12, 13)



ปัจจัยสำคัญสำหรับการกำจัดด้วยระบบนี้คือ

1. ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ต้องมีปริมาณเพียงพอ
2. ปริมาณออกซิเจนในน้ำ (ดีโอ) มีพอเพียงทุก ๆ ส่วนของถังเติมอากาศ
3. ต้องมีการแยกตะกอนแบคทีเรียออกจากน้ำ เพื่อให้ได้น้ำส่วนใสในถังตกตะกอน



รูปที่ 2.1 ผังระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์

2.1.2 ส่วนประกอบของระบบแอกติเวเต็ดสัลดจ์

จากรูป 2.1 ระบบแอกติเวเต็ดสัลดจ์ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

1. ถังเติมอากาศ (Aeration tanks)
2. ถังตกตะกอน (Settling tank)
3. ระบบหมุนเวียนตะกอน (Return sludge)
4. ระบบระบายน้ำส่วนใสทิ้ง (Effluent)

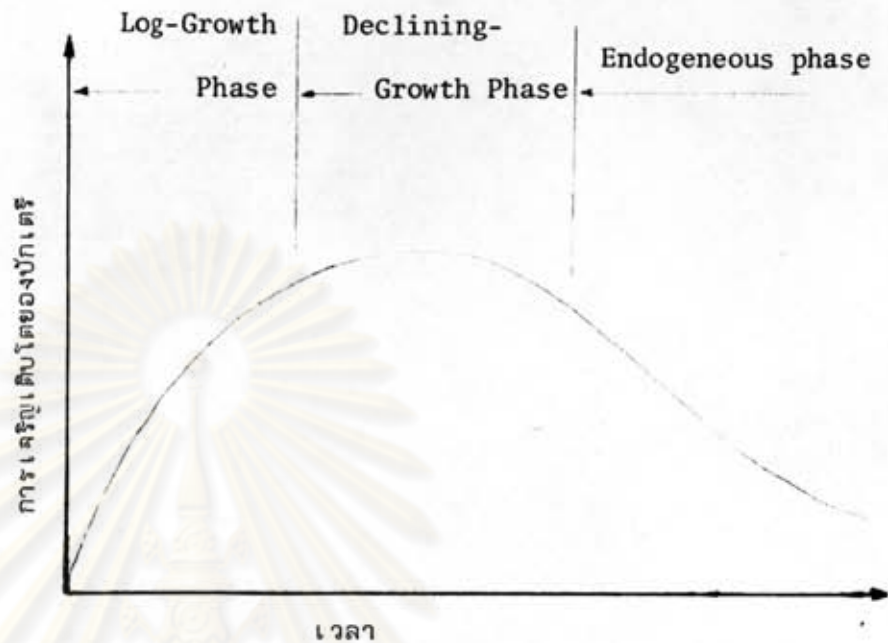
ในกรณีที่น้ำเสียที่มีพวกตะกอนแขวนลอยสูงจำเป็นต้องมีการกำจัดตะกอนแขวนลอย (primary treatment) ก่อนเข้าสู่ถังเติมอากาศ

น้ำเสียเมื่อเข้าสู่ถังเติมอากาศจะถูกบักเตรีที่เลี้ยงอยู่ในถังทำการย่อยสลาย อัตราการทำลายสารอินทรีย์โดยบักเตรีจะถูกเร่งให้เร็วขึ้นเนื่องจากปริมาณบักเตรีที่เพิ่มขึ้น (จากสมการ 2.1) และปริมาณออกซิเจนที่มีการเติมอยู่ตลอดเวลาในถัง ปริมาณบักเตรีในถังเติมอากาศจะมีมากขึ้นจนจับกันเป็นตะกอนชั้นใหญ่สีน้ำตาล เครื่องเติมอากาศอาจเป็นแบบแอโรเตอร์ ใช้ใบพัดหรือแบบเป่าอากาศให้กับน้ำก็ได้ ทำหน้าที่สำคัญคือเป็นตัวให้ออกซิเจนแก่บักเตรี และกวนให้บักเตรีสัมผัสกับน้ำเสียได้ตลอดทั่วถึง นอกจากนี้ยังทำให้บักเตรีสามารถแขวนลอยอยู่ในถังได้ โดยไม่ตกตะกอนลงก้นถัง เกิดการหมักของตะกอนกลายเป็นสภาพไร้ออกซิเจน (anaerobic condition) ซึ่งก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นและปัญหาด้านอื่นได้ หลังจากถูกกักอยู่ในถังเติมอากาศเป็นเวลาพอสมควร มวลบักเตรีจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อจมตัวลงและจะได้น้ำทิ้งที่ใสมีค่าสารอินทรีย์ (บีโอดี) ต่ำ ส่วนตะกอนบักเตรีที่จมอยู่ก้นถังตกตะกอนจะถูกส่งกลับไปยังถังเติมอากาศอีก เพื่อรักษาปริมาณบักเตรีในถังเติมอากาศให้คงที่ เนื่องจากบักเตรีมีการเพิ่มจำนวนอยู่ตลอดเวลา จึงต้องมีการระบายตะกอนบักเตรีทิ้งบ้าง เพื่อมิให้การสะสมของตะกอนมีมากเกินไปจนเป็นอุปสรรคต่อการใช้ถังตกตะกอนหรือเกิดปัญหาอื่น ๆ เนื่องจากมีการหมุนเวียนตะกอนบักเตรีไปใช้ในระบบอีก ค่าเอสอาร์ที (Solid Retention time) จึงสูงกว่าค่าเอช อาร์ ที (Hydraulic Retention time) (11)

2.1.3 การเกิดของเลนตะกอนแอกติเวเต็ดสัลดจ์

แอกติเวเต็ดสัลดจ์เกิดขึ้นเนื่องจากระยะเริ่มแรกปริมาณบักเตรีน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณอาหารหรือบีโอดีในน้ำเสีย ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างปริมาณอาหารกับปริมาณบักเตรี (F/M หรือ Food to Microorganism Ratio) จะมีค่าสูงมากเกินกว่า 2.5 เนื่องจากอาหาร

มีเหลือเพื่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียไม่มีขีดจำกัดและอยู่ใน Log-Growth Phase แบคทีเรียจะทวีจำนวนอย่างรวดเร็วและอัตราการทำลายบีโอดีจะมีค่าสูงสุดและอัตราการใช้ออกซิเจนถึงมีค่าสูงสุดด้วย แบคทีเรียจะมีพลังงานมากเมื่อสัมผัสกันจะผลัดกันในระยะนี้จะไม่เกิดฟล็อก (Floc) แบคทีเรียจะอยู่ในสภาพแขวนลอย น้ำทิ้งจะมีลักษณะขุ่น เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณอาหารลดลงเรื่อย ๆ ในขณะที่ยังคงเพิ่มขึ้น ค่า F/M ลดลงอย่างรวดเร็ว จนถึงจุดการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียถูกจำกัดด้วยปริมาณอาหาร ในระยะนี้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะอยู่ใน Declining Growth Phase และการเจริญเติบโตจะเป็นปฏิภาคตรงกับปริมาณอาหารที่เหลืออยู่ แบคทีเรียบางตัวจะตายและจับตัวกันเป็นตะกอนเล็ก ๆ (Flocs) แต่บางตัวยังคงมีพลังงานพอเพียงจะผลัดกันเมื่อได้สัมผัส ในระยะนี้เริ่มเกิดแอกติเวเต็ดลัสต์จ์เมื่อหยุดเป่าอากาศ ตะกอนจะตกลงสู่กันดัง เมื่อทำการเติมอากาศต่อไปนาน ๆ โดยไม่มีการเพิ่มอาหาร ค่า F/M จะลดลงจนถึงสภาวะสมดุลระหว่างปริมาณอาหารกับปริมาณแบคทีเรีย ถ้าเติมอากาศต่อไปปริมาณแบคทีเรียจะลดลงทุก ๆ เนื่องจากอาหารขาดแคลน การเจริญเติบโตจะถึงระยะที่เรียกว่า Endogeneous Phase แบคทีเรียที่เหลือจะใช้อาหารที่สะสมอยู่ในเซลล์ออกมาใช้ จึงทำให้ไม่มีพลังงานพอจะผลัดกันเมื่อชนกัน ทำให้แอกติเวเต็ดลัสต์จ์เกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ปริมาณแบคทีเรียที่ขาดอาหารเพิ่มขึ้นในที่สุดก็ตายไปละลายตัวให้สารอินทรีย์กลายเป็นอาหารให้แก่แบคทีเรียตัวอื่น การที่จะเติมอากาศจนถึงจุดที่ BOD และแบคทีเรียละลายตัวหมดจะใช้เวลาเป็นเดือน ดังนั้นในทางปฏิบัติเมื่อถึง Endogeneous Phase จึงต้องแยกแอกติเวเต็ดลัสต์จ์ออกเพื่อนำไปผสมกับน้ำทิ้งอีก ดังนั้นจึงสามารถควบคุมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในถังเติมอากาศโดยใช้ค่า F/M เริ่มต้นด้วยค่าต่ำอยู่ในช่วง Declining Growth Phase ระยะเวลาที่แบคทีเรียอยู่ในถังปฏิกรณ์จะเป็นค่ากำหนดว่าการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะอยู่ใน Endogeneous Phase นานเพียงใด ถึงแม้ว่าอัตราการทำลายบีโอดีโดยแบคทีเรียจะมีค่าสูงสุดใน Log-Growth Phase แต่เนื่องจากไม่สามารถแยกแบคทีเรียออกได้ จึงทำให้มีคุณภาพต่ำ จึงจำเป็นต้องควบคุมให้การเจริญเติบโตอยู่ใน Endogeneous Phase การเจริญเติบโตของแบคทีเรียกับเวลาแสดงอยู่ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของบักเตอรีกับระยะเวลา

2.1.4 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์

ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์จะสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของบักเตอรีกล่าวคือ

1. ปริมาณออกซิเจนในระบบต้องไม่น้อยกว่า 0.5 มก./ลบ.ตม. ตลอดเวลา
2. พีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.5-8.5

3. มีอาหารเสริมคือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสพอเพียง

คือ $BOD : N : P = 100 : 5 : 1$ หรือ

$COD : N : P = 150 : 5 : 1$

4. อุณหภูมิที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 40° ซ. อัตราการทำลายบีโอดีจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ แต่จะลดลงถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป

2.1.5 ประเภทของระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์

ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ได้มีการพัฒนาปรับปรุงจนแยกออกได้หลายแบบ แต่มีส่วนประกอบหลักเหมือนกัน ทั้งนี้โดยมีความแตกต่างอยู่ที่วิธีการสร้างสิ่งแวดล้อมให้กับบักเตอรีในถังเติมอากาศ

เช่นวิธีการกระจายน้ำเสียและออกซิเจน ระยะเวลาที่บักเตรีถูกกักอยู่ในระบบ เป็นต้น ดังแสดงไว้ใน ตารางที่ 2.1 และ 2.2 ประเภทของระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์อาจจำแนกออกเป็นหลายชนิด เช่น

1. Conventional Activated Sludge
2. Step Aeration Activated Sludge
3. Tapered Aeration Activated Sludge
4. Extended Aeration Activated Sludge
5. Contact Stabilization Activated Sludge
6. Pure Oxygen Activated Sludge
7. Completely Mixed Activated Sludge ฯลฯ

สำหรับรายละเอียดการทำงานก็ศึกษาได้จากบทความเรื่อง แอกติเวเต็ดสลัดจ์ ใน หนังสือต่าง ๆ เช่น "Wastewater Engineering Treatment Disposal" ของ Metcalf & Eddy. (14) เป็นต้น

2.1.6 การควบคุมระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์

พารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์มีอยู่ 3 พารามิเตอร์ คือ

1. MLVSS
2. F/M
3. Sludge Age, (θ_c)

สำหรับ MLVSS และ F/M ถ้าใช้เป็นตัวควบคุมระบบจะยุ่งยากมาก เนื่องจากในระบบฯ มีการเติมน้ำเสียซึ่งเป็นอาหารให้แก่บักเตรี และการระบายน้ำทิ้งอยู่ตลอดเวลาและน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบอาจมีการเปลี่ยนแปลง จึงเป็นการยุ่งยากในการทำให้ค่า F/M หรือ MLVSS ในระบบคงที่ ดังนั้นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการควบคุมระบบได้แก่ อายุตะกอนเลน (Sludge Age)

ตารางที่ 2.1 ลักษณะต่าง ๆ ของระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ (14)

Process modification	Flow model	Aeration system	BOD removal efficiency, %	Remarks
Conventional	Plug flow	Diffused air, mechanical aerators	85-95	Use for low-strength domestic wastes. Process is susceptible to shock loads.
Tapered aeration	Plug flow	Diffused air	85-95	Air supply tapered to match organic loading demand.
Continuous-flow stirred-tank reactor	Continuous-flow stirred-tank reactor	Diffused air mechanical aerators	85-95	Use for general application. Process is resistant to shock loads.
Step aeration	Plug flow	Diffuse air	85-95	Use for general application to wide range of wastes.
Modified aeration	Plug flow	Diffused air	60-75	Use for intermediate degree of treatment where cell tissue in the effluent is not objectionable.

Process modification	Flow model	Aeration system	BOD removal efficiency, %	Remarks
Contact stabilization	Plug flow	Diffused air mechanical aerators	80-90	Use for expansion of existing systems, package plants. Process is flexible.
Extended aeration	Continuous flow stirred-tank	Diffused air, mechanical aerators	75-95	Use for small communities, package plants. Process is flexible.
Kraus process	Plug flow	Diffused air	85-95	Use for low-nitrogen, high-strength wastes.
High-rate aeration	Continuous flow stirred-tank reactor	Mechanical aerators	75-90	Use for general applications with turbine aerators to transfer oxygen and control the floc size.
Pure-oxygen systems	Continuous flow stirred-tank reactors in series	Pure oxygen with mechanical dispersion	85-95	Use for general application where limited volume is available, near economical source of oxygen (turbine or surface aerators).

ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ (14)

Process modification	θ_c, d	F/M, kg BOD ₅ applied/kg MLVSS d	Volumetric loading kg BOD ₅ applied/m ³ d	MLSS, mg/L	KQ, h	Qr/Q
Conventional	5-15	0.2-0.4	0.3-0.6	1,500-3,000	4-8	0.25-0.5
Tapered aeration	5-15	0.2-0.4	0.3-0.6	1,500-3,000	4-8	0.25-0.5
Continuous-flow stirred-tank reactor	5-15	0.2-0.6	0.8-0.2	3,000-6,000	3-5	0.25-1.0
Step aeration	5-15	0.2-0.4	0.6-1.0	2,000-3,500	3-5	0.25-0.75
Modified aeration	0.2-0.5	1.5-5.0	1.2-2.4	200- 500	1.5-3	0.05-0.15
Contact stabilization	5-15	0.2-0.6	1.0-1.2	(1,000-3,000) (4,000-10,000)	(0.5-1.0) ^a (3-6) ^b	0.25-1.0
Extended aeration	20-30	0.05-0.15	0.1-0.4	3,000-6,000	18-36	0.75-1.50
Kraus process	5-15	0.3-0.8	0.6-1.6	2,000-3,000	4-8	0.5 -1.0
High-rate aeration	5-10	0.4-1.5	1.6-1.6	4,000-10,000	0.5-2	1.0-5.0
Pure-oxygen systems	8-20	0.25-1.0	1.6-3.3	6,000-8,000	1-3	0.25-0.5

a Contact unit

b Solids stabilization unit

Note: kg/m³ d x 62.4280 = lb/10³ f³ d

kg/kg d x 1.0 = lb/lb d

mg/L = g/m³

เนื่องจากสามารถควบคุมได้ง่าย และมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ทั่วทุกตัว เช่น MLVSS, ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสีย, อัตราระบายตะกอนทิ้ง เป็นต้น โดยปกติระบบฯ ควรมียุ่ค่าอายุตะกอนเลขอยู่ในช่วง 5 - 15 วัน จึงจะมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดน้ำเสีย (10)

จุดมุ่งหมายสำคัญของการควบคุมระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์จึงอยู่ที่การรักษาระดับของอายุเลนตะกอนให้คงที่ตลอดเวลา ไม่ว่าน้ำเสียจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรก็ตาม จากการวิจัยพบว่าระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ซึ่งควบคุมให้มีอายุเลนตะกอนคงที่จะเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความต้านทานต่อการแปรปรวน (10)

2.1.7 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์

1. การลอยตัวของตะกอนในถังตกตะกอน (Rising Sludge) สาเหตุเป็นเพราะตะกอนอยู่ในถังตกตะกอนนานเกินไป ทำให้เกิดขบวนการ Denitrification เป็นปฏิกิริยาเปลี่ยนพวกไนเตรตกลายเป็นก๊าซไนโตรเจนซึ่งจะลอยขึ้นข้างบน พาเอาตะกอนสลัดจ์ลอยตัวขึ้นมาด้วย การแก้ไขกระทำได้ด้วยวิธีการต่อไปนี้คือ

- ก. เพิ่มอัตรารีไซเคิล
- ข. เพิ่มความเร็วของเครื่องกวาดตะกอน
- ค. ลดค่า SRT โดยลุ่มตะกอนส่วนเกินทิ้งมากขึ้น
- ง. ลดปริมาณ Mixed Liquor ที่เข้าสู่ถังตกตะกอน

ในบางกรณีปัญหานี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์ประเภทเชื้อราเรียกว่า *Nocardia actinomyces* ทำให้เกิดคราบหนาสีน้ำตาล (Scum) ในถังเติมอากาศและในถังตกตะกอน วิธีการที่โยได้ผลในการแก้ปัญหานี้ได้แก่ (11)

- ก. เติมคลอรีนในถังเติมอากาศ
- ข. ลดการเติมอากาศให้ออกซิเจนเหลือประมาณ 0.5 มก./ลบ.ตม.
- ค. ลดค่า MLSS
- ง. เพิ่มค่าพีเอช เป็น 7.5 - 8 โดยเติมน้ำปูนขาว

2. การจมตัวไม่ลงของตะกอน (Bulking) สลัดจ์จะจมตัวในถังตกตะกอนช้ามาก
 เอสโรว > 200 ขึ้นไป สาเหตุเกิดขึ้นเนื่องจากแบคทีเรียที่เป็นเส้นใย (Filamentous
 bacteria) การป้องกันคือ

ก. พีเอชอย่าต่ำกว่า 6 และ ดีโอ อย่างน้อยกว่า 2 มก./ลบ.ตม.

ข. น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบฯ อย่างมีปริมาณมากเกินไปจนความล้ามารถของระบบฯ ที่จะรับ
 ไว้ได้

ค. ให้มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสพอเพียง

วิธีแก้ไข

ก. ปิดเครื่องเติมอากาศ เพื่อเกิดสภาพไร้ออกซิเจนอาจทำลายแบคทีเรีย
 ชนิดเส้นใยได้

ข. เติมคลอรีนเข้าที่ท่อรีไซเคิลในปริมาณ 10 - 20 มก./ลบ.ตม. เพื่อทำลาย
 แบคทีเรียชนิดเส้นใย การเติมคลอรีนต้องระวังเพราะถ้าเติมมากเกินไปจะเป็น
 อันตรายต่อแบคทีเรียชนิดอื่น

ค. ถ้าไม่ได้ผลควรสูบตะกอนทิ้งให้หมดแล้วเริ่มเลี้ยงบ่อใหม่

3. น้ำขุ่นในถังตกตะกอน

เกิดขึ้นเนื่องจากแอกติเวเต็ดสลัดจ์ที่ยังไม่โตพอ ระบบที่มีเอสอาร์ทีต่ำ มีพีเอชต่ำ
 หรือขาดแร่ธาตุบางอย่าง ก็จะมีปัญหาเรื่องน้ำขุ่นเช่นกัน บางครั้งการกวนน้ำในถังเติมอากาศ
 ที่รุนแรงไปก็อาจทำให้ฟล็อก (Floc) แตกและไปทำให้เป็นความขุ่นในน้ำทิ้งที่ล้นออกจากถังตก
 ตะกอน

4. ฟองในถังเติมอากาศ

น้ำเสียที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูง หรือน้ำเสียที่มีปริมาณผงซักฟอก แต่อย่างไรก็ตามหลังจาก
 เติมน้ำมันไปนานพอสมควรแล้วฟองจะมีน้อยลงจนไม่เป็นปัญหาอีกต่อไป การแก้ไขกระทำได้
 โดยวิธีการกายภาพหรือเคมีเช่น ฉีดน้ำ, เติมน้ำส้มชั่ง, ตลอดจนใช้อุปกรณ์เก็บกวาดฟอง
 เป็นต้น เป็นวิธีแก้ไขปลายเหตุซึ่งมักได้ผลชั่วคราว ทางที่ดีควรค้นหาสาเหตุการเกิดฟองบางครั้ง
 การเพิ่มเอสอาร์ที อาจช่วยลดปัญหาเรื่องฟองได้ดีกว่าวิธีทางกายภาพหรือเคมี

5. ประสิทธิภาพต่ำ

ในการออกแบบระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ต้องออกแบบให้ถูกต้องและเหมาะสมกับลักษณะ

น้ำเสีย การควบคุมระบบตลอดจนการดำเนินงานต้องถูกต้องเพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบดี

6. พีเอชในถังเติมอากาศต่ำ

เกิดขึ้นเนื่องจากขบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียลดลง เป็นผลทำให้เกิดบัคเตอร์เส้นใยขึ้นอีกด้วย วิธีการแก้ไขโดยลดหรือเพิ่มสารละลายต่าง เช่น ปูนขาวหรือโซดาไฟ

7. ระดับ MLSS ในถังเติมอากาศต่ำ

เกิดขึ้นเนื่องจากการควบคุมระบบฯ ที่ไม่ถูกต้องและไม่เหมาะสมหรือน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบน้อยมาก การแก้ไขอาจกระทำได้โดยการลดขนาดของถังเติมอากาศและลดอัตราการระบายตะกอนทิ้งให้มากที่สุด

8. สำหรับเกิดขึ้นในถังเติมอากาศและในถังตกตะกอน

ในกรณี MLSS ต่ำ สำหรับอาจเกิดขึ้นได้หรือในน้ำชีโนโตรเจนสูง วิธีการแก้ไขคือการเพิ่มระดับ MLSS

9. เปลือกไฟฟ้า

ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์เป็นระบบกำจัดน้ำเสียที่เปลืองไฟฟ้า การประหยัดค่าไฟฟ้าได้โดยรักษาระดับดีโอในถังเติมอากาศให้ประมาณ ประมาณ 1 - 2 มก./ลบ.ตม. หรือประหยัดโดยการออกแบบให้ค่าเอสอาร์ที (θ_c) ต่ำ แต่ต้องสอดคล้องกับระบบการกำจัดตะกอนด้วย

2.2 ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบเอสอาร์ที (Sequence Batch Reactor)

ระบบเอสอาร์ทีความจริงเป็นระบบที่มีมานานแล้ว และในปัจจุบันก็ได้มีการใช้งานกันอยู่โดยผู้ใช้อาจไม่รู้ตัว โดยหลักการเป็นระบบที่พัฒนาจากระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ เพื่อให้ควบคุมได้ง่าย มีประสิทธิภาพบำบัดน้ำเสียสูงและเหมาะสมสำหรับใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานขนาดเล็กที่มีน้ำเสียไม่มาก

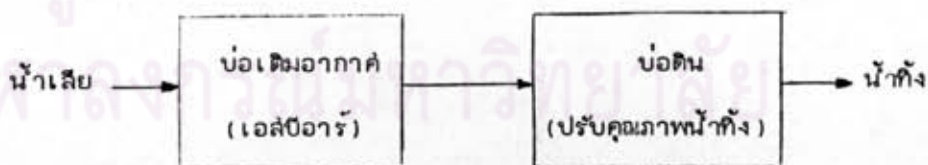
ลักษณะการทำงานของระบบเอสอาร์ทีประกอบด้วยถังปฏิกรณ์ที่ทำหน้าที่ 5 ขั้นตอนด้วยกัน เรียงตามลำดับของงานได้ดังนี้ (15)



1. เติมน้ำเสียเข้าสู่ปฏิกรณ์
2. เติมอากาศเพื่อทำปฏิกรณ์
3. ให้จุลชีพผสมตัวลง
4. ระบายน้ำส่วนใสที่บำบัดแล้วออกจากระบบ
5. ระบายฟัก

การทำงานครบทั้ง 5 ขั้นตอน เรียกว่า หนึ่งรอบวัฏจักร (Cycle) ถ้าน้ำเสียไม่ได้เกิดขึ้นตลอด 24 ชั่วโมง ระบบเอสปีอาร์อาจมีตั้งปฏิกรณ์เพียงใบเดียว และมีวัฏจักรการทำงานเพียงวันละหนึ่งครั้ง ทั้งนี้เพราะสามารถปิดเครื่องเติมน้ำเสียเพื่อให้เกิดการตกตะกอนในระหว่างที่ไม่มีน้ำเสีย อย่างไรก็ตามในกรณีที่น้ำเสียมีจำนวนมากและเกิดขึ้นตลอด 24 ชั่วโมง ระบบเอสปีอาร์อาจต้องมีตั้งปฏิกรณ์มากกว่า 1 ใบ เพื่อที่จะสามารถควบคุมวัฏจักรของการบำบัดให้มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะของน้ำเสียเองและสภาพท้องถิ่นนั้น

จากการวิจัยโดยใช้ระบบเอสปีอาร์บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม 3 ประเภทคือ โรงงานอาหารกระป๋อง โรงงานผลิตขนมแป้งข้าวเจ้า และโรงงานผลิตน้ำตาลเด็กโตรลและเชอร์รี่ทอล โดยใช้ระบบเอสปีอาร์แบบไม่มีกักระบายตะกอนกึ่งและมีเวลากักน้ำประมาณ 2 - 8 วัน สามารถบำบัดซีโอดีได้ถึงถึง 90 % หรือมากกว่า (15) และในกรณีที่น้ำเสียมีซีโอดีสูง การระบายสลัดจ์ออกจากระบบบ้าง อาจทำให้สลัดจ์มีคุณสมบัติในการตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้น และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี มิฉะนั้นแล้วควรจะมีบ่อปรับคุณภาพน้ำกึ่งต่อจากระบบเอสปีอาร์ดังแสดงในภาพที่ 2.3 ซึ่งจะทำให้ได้น้ำกึ่งมีคุณภาพมากขึ้น



รูปที่ 2.3 ระบบเอสปีอาร์ที่มีบ่อปรับคุณภาพน้ำกึ่ง

Hoepker และ Schroeder (16) ได้ทำการวิจัยระบบเอสปีอาร์พบว่า การอัดตัวของตะกอนดีขึ้น คือมีค่าเอสวีไอต่ำ เมื่อเพิ่มอัตราภาระ (loading rate) เป็นผลทำให้จุลชีพมีการเจริญเติบโตแบบกระจาย (Dispersed growth) เมื่อมีสารอาหารอย่างไม่จำกัด ทำให้แบคทีเรียเส้นใย (filamentous bacteria) ถูกกำจัดลงไปด้วย

จากงานวิจัยของ Irvine,etal (17) แสดงให้เห็นว่าสำหรับชุมชนเล็ก ๆ แล้ว ระบบเอสปออาร์จะถูกกว่าระบบอื่น เช่น Nonaerated lagoon หรือ Package plant ในขณะที่ราคาของการควบคุมการทำงานใกล้เคียงกัน ส่วนเมืองเล็ก ๆ เมื่อเปรียบเทียบระบบเอสปออาร์กับระบบแอกติเวเต็ดสัสต์จี้ nonaerated lagoon และ aerated lagoon ถึงแม้ว่าระบบเอสปออาร์จะแพงกว่าระบบ aerated lagoon แต่คุณภาพของน้ำทิ้งของ aerated lagoon เลวกว่าและไม่ได้ตามมาตรฐานของน้ำทิ้ง

Goronsky (18) ได้ทำการวิจัยโดยการเติมน้ำเสียเป็นช่วง ๆ ในระบบ extended aeration สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียเล็ก ๆ ที่รับน้ำเสียจากชุมชนพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดดี สามารถควบคุมการทำงานของระบบได้ง่ายและคล่องตัว

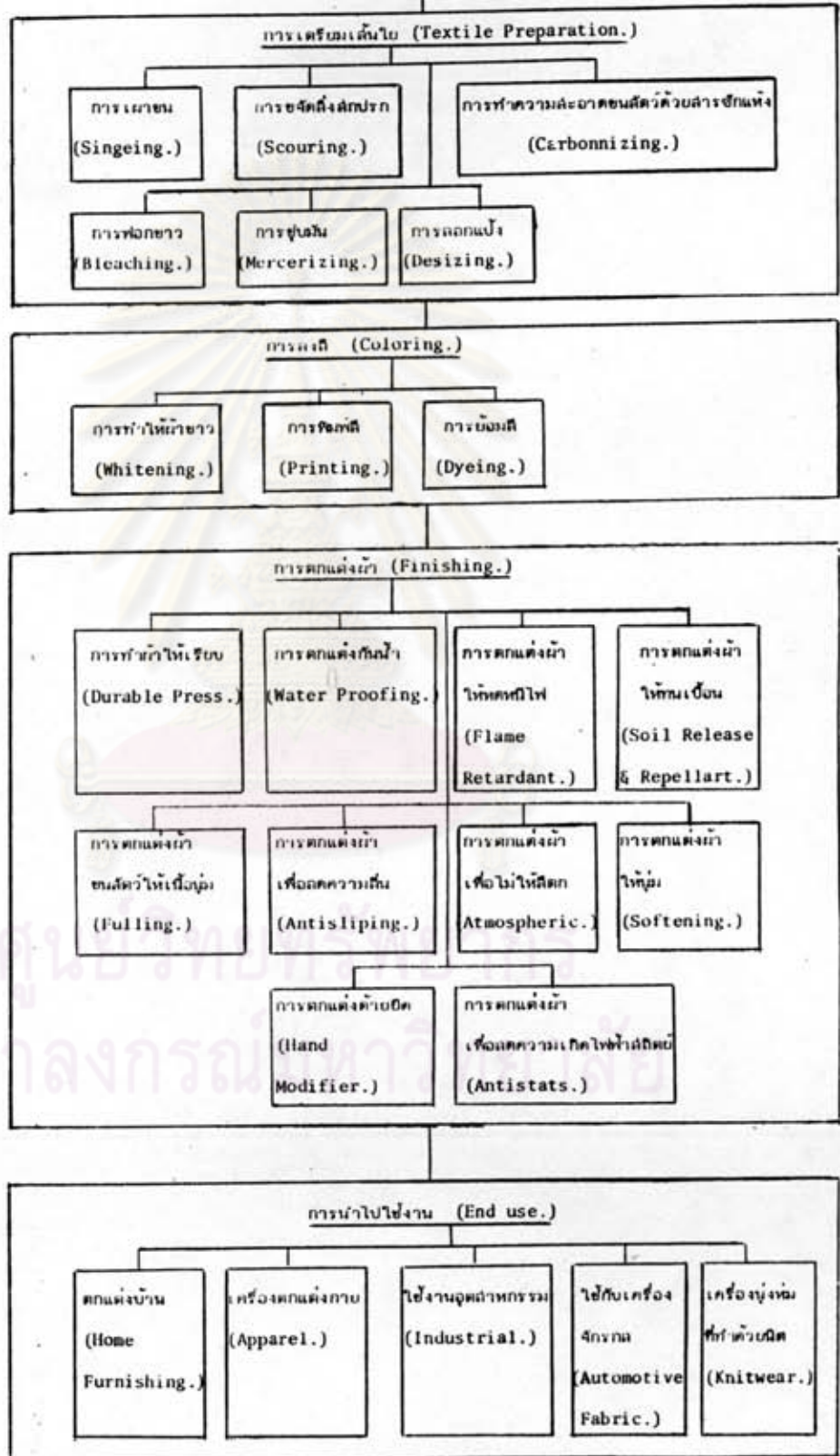
สรุปได้ว่าระบบเอสปออาร์ เป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับโรงงานที่มีประมาณน้ำเสียไม่เกิน 400 ม³/วัน และมีซีโอดีไม่สูงเกิน 5000 มก./ลบ.ตม.(15) นอกจากนี้แล้วคุณสมบัติของระบบเอสปออาร์คือ เป็นระบบที่ง่ายทั้งในการออกแบบและควบคุม มีประสิทธิภาพในการบำบัดดี ตลอดจนถึงแก้ปัญหาเรื่องการจมตัวไม่ลงของตะกอน และปัญหาเรื่องการตกตะกอน เป็นต้น

2.3 สีย้อมและการย้อมสี

การผลิตอุตสาหกรรมสิ่งทอ เริ่มต้นจากเส้นใยหรือผืนผ้าผ่านขั้นตอนกรรมวิธีต่าง ๆ เช่น การเผาขน การย้อมสีสิ่งสกปรก ฯลฯ เพื่อให้เส้นใยหรือผืนผ้ามีความสะอาดและความพร้อมที่จะดูดซึมสีในขบวนการย้อมต่อไป จากนั้นนำเส้นใยหรือผ้าที่ผ่านการย้อมเข้าสู่ขั้นตอนการตกแต่งตามลักษณะการนำไปใช้งานต่อไป ขั้นตอนการผลิตแสดงไว้ในรูปที่ 2.4

กรรมวิธีในการย้อมแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ การย้อมในหม้อย้อมแบบครั้งคราว (batch) และย้อมแบบต่อเนื่องในเครื่องย้อมการย้อมแบ่งครั้งคราวนั้นให้ปริมาณน้ำน้อย แต่ความเข้มข้นของสิ่งสกปรกมีปริมาณสูง ส่วนเครื่องย้อมแบบต่อเนื่องให้ผลตรงข้าม แต่ไม่อาจสรุปได้ว่ามีปริมาณมลสารเท่าไร เนื่องจากกรรมวิธีการย้อมแต่ละแบบมีความแตกต่างกัน ทางด้านตัวสีย้อม สารช่วยย้อม และความสามารถในการติดสีบนเนื้อผ้า เป็นต้น การย้อมที่มีประสิทธิภาพคือ การย้อมให้ผ้าหรือด้ายมีสีสม่ำเสมอเท่ากันตลอด สีย้อมต้องติดเส้นใย เข้าไปถึงภายในและจะต้องทนทานต่อการซักล้างไม่หลุดออกโดยง่าย

เส้นใยทุกชนิดที่อยู่ในรูปเส้นด้ายหรือกัมมันต์
(Fiber/Fabric, All Classes, Natural & Synthetic.)



รูปที่ 2.4 แสดงผังในการผลิตอุตสาหกรรมสิ่งทอ

(Textile Processing Flow Chart.)

2.3.1 ลิบยอม

ลิบยอมมีมากมายหลายชนิด การนำลิบยอมมาใช้ยอมให้ได้ผลดีขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของลิกับเส้นใยต้องมียามากกว่าอำนาจการรวมตัวของลิกับน้ำ การเกิดสภาวะนี้เมื่อโมเลกุลของลิบยอมมีหมู่อะตอมซึ่งถูกจัดให้เรียงตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิดการติดติด (substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดบอนด์ (bond) ยึดกันแน่น อิทธิพลที่ทำให้ลิติดติดกับเส้นใยได้คือ

1. ไฮโดรเจนบอนด์ (Hydrogen bond)
2. แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der waal's forces)
3. แรงไอออน (Ionic forces)
4. โควาเลนต์บอนด์ (Covalent bond)

การติดติดกันระหว่างโมเลกุลของลิบยอมกับโมเลกุลของเส้นใยอย่างน้อยจะต้องประกอบไปด้วยแรง 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งก็อาจจะเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกัน แรงดึงดูดทางเคมีที่จะทำให้การติดติดได้ดีที่สุดได้แก่ โควาเลนต์บอนด์ (covalent bond) นอกจากนี้อิทธิพลของแรงทั้ง 4 แล้ว อิทธิพลของรูปร่างและขนาดของโมเลกุลของลิบยอมที่มีผลต่อการติดติดหรือมีผลกระทบต่อการยอมอย่างมากด้วย เช่น ถ้าโมเลกุลของลิบยอมมีขนาดเล็กและยาวเท่าไรก็จะผ่านช่องว่างเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้นเท่านั้น ทำให้การติดติดดีขึ้น หรือถ้าโมเลกุลของลิบยอมมีลักษณะแบนและมีความกว้าง ความยาวมาก ๆ จะทำให้เกิดการติดติดมีความคงทนสูงมากขึ้น

สรุปได้ว่าการที่โมเลกุลของลิบยอมติดเกาะกับโมเลกุลของเส้นใยเป็นผลเนื่องจากแรงทางเคมีและฟิสิกส์ โดยมีสารบางอย่างเข้าช่วยเหลือเพื่อที่จะทำให้โมเลกุลของลิบยอมและโมเลกุลของเส้นใยเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันได้ดีขึ้น สารบางอย่างนี้คือสารช่วยยอม (additive)

2.3.2 สารช่วยยอม

สารช่วยยอม คือสารเคมีที่ใส่ลงไปในขบวนการยอมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดติดได้มากขึ้น ทำให้ลิที่ติดเส้นใยมีความคงทนและส่องเงาเสมอ

สารช่วยยอมแบ่งออกเป็น 7 ประเภทด้วยกันคือ

1. กรด ใช้สำหรับยอมเส้นใยโปรตีนและไนลอนเพื่อใช้ลิบยอมเคลือบ
2. ด่าง ใช้ยอมใยเซลลูโลสด้วยลิบยอมอะซิติก, แวตและกำมะถัน
3. เกสโซ ใช้ในยอมด้วยลิบยอมเคลือบและการยอมเส้นใยเซลลูโลสทุกชนิด

4. สารช่วยให้สีล้มาเสมอ ไซท์กับสีแวต ดีสเพอร์สและดีเอสิตบางชนิด
5. สารพา (carrier) ไซท์เมื่อย้อมเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด
6. สารละลายอินทรีย์ ไซท์เมื่อย้อมขนสัตว์และใยสังเคราะห์บางชนิด
7. สารรีดิวซิง ไซท์สำหรับรีดิวส์ตัวสีบางชนิดเพื่อประโยชน์ในการดูดซึมเข้าไปในเส้นใย

สารช่วยย้อมแต่ละประเภทนี้ยังแบ่งออกเป็นสารเคมีชนิดต่าง ๆ มากมายดังนั้นสีย้อมแต่ละชนิดย่อมมีสารช่วยย้อมแตกต่างกันไป เป็นผลทำให้ผ้าเสียจากขบวนการย้อมแตกต่างกันไปด้วย

2.3.3 การจำแนกสีย้อม

สีย้อมที่ใช้ในโรงงานทอผ้ามีมากมายหลายชนิด ตามชนิดของเส้นใยหรือผ้าที่จะนำไปย้อม สีย้อมอาจจำแนกออกได้หลายประเภท ตามลักษณะทางกายภาพ โดยแบ่งออกเป็น สารสีละลายน้ำได้ และสารสีที่ไม่ละลายน้ำ หรือจำแนกตามส่วนประกอบทางเคมี ซึ่งวิธีนี้ยุ่งยากด้วยอาศัยความรู้ทางด้านเคมีและสูตรโครงสร้างของสีด้วย วิธีจำแนกสีย้อมที่ได้รับความนิยมและเข้าใจง่ายได้แก่การจำแนกสีย้อมตามการนำไปใช้งาน (19,20) ซึ่งแบ่งสีย้อมทั้งหมดออกเป็น 12 ประเภทด้วยกันคือ

1. สีดีสเพอร์ส (Disperse Dyes)

สีย้อมเส้นใยอะซิเตทหรือเส้นใยสังเคราะห์บางชนิดที่ดูดซึมน้ำได้น้อย สีย้อมนี้ไม่ละลายน้ำแต่เป็นละอองละเอียดลอยตัวอยู่ในน้ำ เมื่อมีสารช่วยกระจาย (dispersing agent) ที่เหมาะสม จะสามารถย้อมในน้ำธรรมดาได้โดยไม่ต้องใช้สารเคมีอย่างอื่นช่วย นอกเสียจากสารพา (carrier) บางตัวที่ช่วยให้ตัวสีเข้าไปใกล้เส้นใยเพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้ สีดีสเพอร์สแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ โดยพิจารณาจากกลุ่มเคมีในตัวสีย้อมได้แก่ สีย้อมเอโซ (azo dyes) และสีย้อม aminoanthraquinone ซึ่งทั้ง 2 กลุ่มนี้ปกติจะประกอบไปด้วยอนุพันธ์ของ ethanolanine-NH₂ CH₂ CH₂OH- หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน

2. สีเอซิด (Acid Dyes)

สีย้อมเส้นใยโปรตีนในน้ำย้อมซึ่งมีสภาพเป็นกรดเสียอาจอาจนำไปย้อมเส้นใยเซลลูโลสที่ไม่ใช่เซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ด้วย เช่น ปอ ป่าน และใยโพลีเอไมด์ เป็นต้น ตัวสีย้อมเกิดจากสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดที่ระเหย

3. สีย้อมอะโซอิก

นิยมใช้ย้อมกับเส้นเซลลูโลสเท่านั้น ตัวสีไม่ละลายน้ำดังนั้นการที่สีจะก่อรูปบนเส้นใย ได้ต้องย้อมด้วยสารประกอบพีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน แล้วจึงนำไปย้อมกับอีกครั้งด้วย เกลือไดอาโซเนียม (Diazonium salt) เกลื่อนี้จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบพีนอล เกิดเป็นสารประกอบเอโซที่ให้สีบนเส้นใย ปฏิกิริยานี้เรียกว่าคัปปลิง (Coupling)

4. สีย้อมเบสิก (Basic Dyes)

ใช้ย้อมขนสัตว์และเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด ย้อมติดเส้นใยเซลลูโลสได้เพียงเล็กน้อย หรือไม่ติดเลย ตัวสีย้อมเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครโมฟอร์ (Chromophore) ให้แคทไอออน ทำให้เรียกสีย้อมชนิดนี้ว่า สีแคทไอออน ย้อมติดกับเส้นใยได้โดยประจุบวกของโมเลกุลของสีย้อม จะจับกับประจุลบของเส้นใย

5. สีย้อมไคเรกต์ (Direct Dyes)

บางครั้งเรียกว่า สีย้อมฝ้ายเนื่องจากเป็นสีสังเคราะห์ชนิดแรกที่สามารถย้อมติดใย ฝ้ายได้โดยตรงไม่ต้องเติมสารช่วยย้อม แต่ในปัจจุบันจะใช้เกลือเข้าช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการย้อมให้สูงขึ้น สีย้อมชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเอโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรด ซัลโฟนิคซึ่งทำให้ตัวสีละลายน้ำได้

สีย้อมนี้ให้คุณสมบัติในการย้อมคงทนตลอดจนราคาแตกต่างกันมาก ถ้าเป็นสีที่คงทนดี โครงสร้างของสีจะซับซ้อนมากขึ้น ราคาต้นทุนการผลิตและราคาจำหน่ายย้อมสูงขึ้นด้วย

6. สีย้อมมอแดนท์ (Mordant Dyes)

ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ตัวสีย้อมกลุ่มนี้กลุ่มใหญ่เป็นตัวสีในกลุ่มสีย้อมเอสิคที่สามารถ ก่อเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะบางชนิดได้ เช่น โครเมียม อลูมิเนียมและเหล็ก อนุภาค ของสีที่ก่อรูปบนเส้นใยภายหลังเมื่อย้อมกับด้วยเกลือโลหะแล้วจะมีความคงทนต่อขบวนการใช้ผ้า (Wet fastness) ได้ดีกว่าที่ไม่ย้อมกับ

7. สีย้อมซัลเฟอร์ (Sulfur Dyes)

ใช้ย้อมผ้าฝ้ายโดยเฉพาะ ราคาค่อนข้างถูก แต่สีที่ย้อมไม่สดใส ตามปกติแล้วตัวสีย้อม ชนิดนี้ไม่ละลายน้ำ แต่ได้มีผู้ผลิตสีย้อมชนิดนี้ขึ้นมาใหม่โดยนำตัวสีย้อมไปทำการรีดิวซ์ทำให้สีชนิดนี้ สามารถละลายน้ำได้ สีย้อมชนิดนี้ได้ชื่อว่าสีซัลเฟอร์เพราะว่า สารที่จะนำมารีดิวซ์เป็นพวกสาร ละลายของโซเดียมซัลไฟด์และโครโมฟอร์ของสีย้อมซัลเฟอร์ประกอบไปด้วยกลุ่มธาตูลซัลเฟอร์ (Sulfonic groups) เมื่อสีย้อมละลายในน้ำแล้วจะแทรกซึมตัวเข้าไปในเส้นใย และสามารถ ทำให้ยึดติดกับเส้นใยได้อย่างถาวรโดยการออกซิไดส์ตัวสีย้อมกลับคืนสู่สภาพเดิมที่ไม่ละลายน้ำ ด้วยวิธีทำปฏิกิริยากับอากาศ

8. สีย้อมแวต (Vat Dyes)

สีย้อมเส้นใยเซลลูโลสโดยเฉพาะใยฝ้าย สีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำ ต้องใช้สารรีดิวซ์ที่เหมาะสมทำให้ละลาย ที่นิยมใช้ทั่วไปได้แก่โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์สีย้อมเมื่อถูกรีดิวซ์แล้วจะให้สารประกอบลิวโค (Leuco Compound) ซึ่งมีสีครามและประสิทธิภาพในการแทรกซึมเข้าไปติดกับเส้นใยได้ และเมื่อนำเส้นใยไปสัมผัสกับอากาศ สารประกอบลิวโคจะถูกออกซิไดส์กลับสภาพเป็นสีแวตที่ไม่ละลายน้ำทำให้เกิดการติดทนอย่างถาวรกับเส้นใยได้ สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญด้วยกัน 2 ชนิด คือ สีครามอินดิโก (Indigoid) และสีแอนทราควินอยด์ (Anthraquinoid)

9. สีย้อมรีแอคทีฟ (Reactive Dyes)

สีย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ที่ละลายน้ำได้มีคุณสมบัติเป็นแอนไอออน เมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ OH ในเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันโดยโควาเลนต์ กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สมบัติการละลายและดูดติดเส้นใยของตัวสีจะทำให้สีเข้าไปอยู่ภายในเส้นใยได้ และเมื่อเกิดปฏิกิริยาตัวสีจะติดกับเส้นใย

10. สีย้อมโลหะ (Metallic Dyes)

สารประกอบอนินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำหลายชนิดใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส และให้สีต่างๆ กัน เมื่อย้อมแล้วต้องทำให้สารนี้ตกตะกอนภายในเส้นใย

11. สีย้อมโอเนียม (Onium Dyes)

นิยมใช้ย้อมมากกว่าย้อมผ้า สดเป็นสารสีที่สามารถทำให้ละลายน้ำได้ รูปแบบการย้อมผ้าเดินคล้ายกับสีแวต คือต้องทำให้ตัวสีย้อมกลับคืนสู่สภาพเดิมไม่ละลายน้ำด้วยการออกซิไดส์กลับคืน

2.4 การดูดติดด้วยผงถ่าน (Carbon Adsorption)

การใช้ถ่านเป็นตัวดูดติด (adsorbent) ไม่มีมานาน ในศตวรรษที่ 10 ได้มีการนำถ่านมาใช้ในงานฟอกสีของอุตสาหกรรมน้ำตาล ต่อมาในปี 1785 Lowitz สามารถกำจัดสีในน้ำโดยใช้ถ่าน และในปี 1860 ประเทศอังกฤษได้ใช้ถ่านกำจัดรสและกลิ่นในน้ำดื่ม อันนับเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาใช้ถ่านในขบวนการผลิตน้ำประปา และระบบบำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือน และโรงงานอุตสาหกรรม (21)

การดูดติดเป็นวิธีฟิสิกส์เคมี เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกบางชนิดในน้ำเสียซึ่งไม่สามารถกำจัดได้ด้วยวิธีอื่น สามารถกำจัดสายอินทรีย์และอนินทรีย์ เช่น ซีโอที ซีโอที ส กลิ่น รส ยาม่าแมลง เป็นต้น ออกจากน้ำเสียได้

ถ่านดูดติดเป็นถ่านที่ผลิตขึ้นด้วยกระบวนการพิเศษทำให้เกิดรูพรุนมากมายบนพื้นผิว อาจหาได้จากวัสดุดิบหลายชนิดเช่น ไม้ ชีเสื่อย ถ่านหิน ลิกไนท์ กะลามะพร้าว ฯลฯ วัสดุดิบแต่ละชนิดจะให้ถ่านดูดติดที่มีคุณภาพแตกต่างกัน ถ่านดูดติดที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่ทำจากถ่านหินและถ่านโค้กชนิดต่าง ๆ เนื่องจากมีราคาถูกและหาได้ง่าย

ถ่านดูดติดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ถ่านชนิดเม็ด (Granular carbon) และถ่านชนิดผง (Powdered carbon) ถ่านชนิดเม็ดมีขนาดใหญ่กว่ารูตะแกรงเบอร์ 50 ส่วนถ่านชนิดผงมีขนาดเล็กกว่ารูตะแกรงเบอร์ 50 (7,11)

2.4.1 กระบวนการดูดติด (Adsorption Process)

การดูดติดโดยทั่วไปเป็นปรากฏการณ์ระหว่างของแข็ง-ของแข็ง, ก๊าซ-ของเหลว ของเหลว-ของเหลว หรือของเหลว-ของแข็ง ในการใช้ถ่านเป็นตัวดูดติดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เป็นปรากฏการณ์ระหว่างของแข็งและของเหลว การดูดติดแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอนด้วยกัน คือ การดูดติดทางฟิสิกส์ (Physisorption) และการดูดติดทางเคมี (Chemisorption)

เมื่อโมเลกุลของสารใด ๆ ในของเหลวเคลื่อนตัวมาสัมผัสผิวของของแข็งซึ่งเป็นผลจากแรงดึงดูดของตัวดูดติด (adsorbent) ที่มีต่อโมเลกุลนั้นมากกว่าพลังงานจลน์ (Kinetic energy) ของโมเลกุล (adsorbate) โมเลกุลของสารในของเหลวจะเกาะติดกับโมเลกุลของของแข็งด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander waal's force) ขั้นตอนนี้เป็นการดูดติดทางฟิสิกส์ การเกาะตัวของโมเลกุลของของเหลวจะเพิ่มขึ้นเป็นขั้น ๆ ตามความเข้มข้นของสารละลาย จากนั้นจะเกิดการดูดติดทางเคมีขึ้นโดยมีพลังงานหนึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของตัวดูดติดและถูกดูดติดกลายเป็นสารประกอบเคมีใหม่ขึ้น ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปได้ (Irreversible) สำหรับการดูดติดทางฟิสิกส์สามารถแปรสภาพกลับได้ (reversible) ขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล (21)

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดคือ

1. คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของตัวดูดติดได้แก่ พื้นผิวขนาดรูพรุนและส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น

2. คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของตัวดูดซับที่ติดได้แก่ ขนาดของโมเลกุลประจุไฟฟ้าของโมเลกุลและส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น

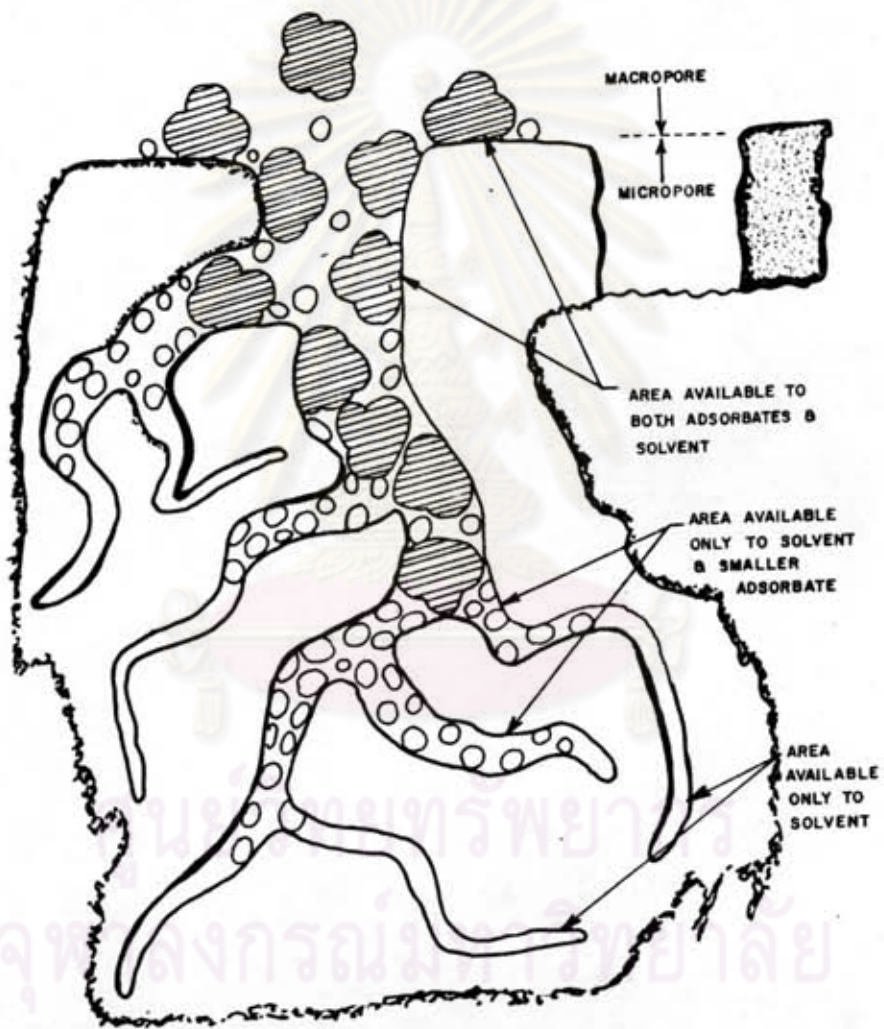
3. ความเข้มข้นของตัวดูดซับในสารละลาย
4. ลักษณะของสารละลาย เช่น พีเอช, อุณหภูมิ ฯลฯ
5. ระยะเวลาในการดูดซับ

2.4.1.1 การดูดซับด้วยแอกติเวเต็ดคาร์บอน

สารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสียบางส่วนไม่สามารถถูกย่อยสลายทางชีววิทยา และมีบางส่วนเป็นพิษหรือก่อให้เกิดกลิ่น, สี, รส ซึ่งไม่สามารถกำจัดด้วยวิธีธรรมดาได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำแอกติเวเต็ดคาร์บอนมาใช้ในการกำจัดสารประกอบเหล่านี้ ประสิทธิภาพของแอกติเวเต็ดคาร์บอนในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยการดูดซับขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของแอกติเวเต็ดคาร์บอน ซึ่งมีประมาณ 500 - 1400 ตารางเมตร/กรัม และที่สำคัญรองลงมาได้แก่ ลักษณะทางเคมีของผิวคาร์บอนเองซึ่งจะขึ้นกับชนิดของคาร์บอนนั้น ๆ อันมีผลต่อแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล คาร์บอนที่ผลิตมาจากพืชจะมีพื้นผิวเป็นต่าง มีผลต่อการดูดซับสีและสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่อิ่มตัว และพื้นผิวของคาร์บอนที่ไม่มีประจุ (nonpolar) ดูดซับสารอินทรีย์ได้ง่าย แต่ดูดซับอินทรีย์ที่มีประจุได้ยาก

แอกติเวเต็ดคาร์บอนมีลักษณะเป็นรูพรุน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 รูพรุนใหญ่ (macropores) เป็นรูที่มีขนาดกว้างกว่า 1000 \AA และรูพรุนเล็ก (micropore) มีขนาดระหว่าง $10-1000 \text{ \AA}$ รูพรุนใหญ่มักอยู่บริเวณผิวนอกของคาร์บอน เป็นทางให้โมเลกุลสารอินทรีย์ผ่านเข้าไปในระยะแรกโมเลกุลของสิ่งสกปรกจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของคาร์บอน ต่อจากนั้นจะพุ่งกระจายเข้าไปในรูของถ่าน อัตราการดูดซับจึงถูกควบคุมด้วยอัตราการพุ่งกระจายของโมเลกุลเข้าไปในรูของถ่าน อัตราการดูดซับนี้จะแปรผันกลับกันกับกำลังสองของเส้นผ่าศูนย์กลางของโมเลกุลและจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสิ่งสกปรกในน้ำเสีย รวมทั้งจะลดลงตามการเพิ่มของน้ำหนักโมเลกุล นอกจากนี้ยังแปรผันตามกำลังสองของเวลาสัมผัสระหว่างโมเลกุลของสิ่งสกปรกกับถ่านดูดซับ และเพิ่มขึ้นถ้าค่าพีเอชลดลง

ความสามารถในการดูดซับ (Adsorptive Capacity) ขึ้นอยู่กับลักษณะของถ่านและชนิดของสารที่จะถูกดูดซับ ดังนั้นการใช้ถ่านดูดซับจำเป็นต้องศึกษาทดลองเพื่อหาถ่านที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานนั้น ๆ



รูปที่ 2.5 ลักษณะถ้ำและการดูดซับสาร

2.4.2 การปรับคืนสภาพของถ่านดูดติด (Carbon Regeneration)

เมื่อถ่านดูดติดหมดสมรรถนะภาพในการดูดติด เนื่องจากโมเลกุลของสิ่งสกปรกเข้าไปอุดตันอยู่ตามรูพรุนของถ่านจนหมด ทำให้ถ่านนั้นใช้งานไม่ได้ต่อไป ประกอบกับราคาถ่านค่อนข้างสูง จึงจำเป็นต้องพยายามนำถ่านนั้น กลับมาปรับคืนสภาพเพื่อนำกลับมาใช้งานอีก การปรับคืนสภาพทำได้โดยการนำถ่านไปกำจัดโมเลกุลของสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ตามรูของถ่านดูดติดออกจากถ่านนั้น ๆ เสีย อาจทำได้หลายวิธี เช่น การปรับคืนสภาพด้วยวิธีทางเคมี โดยใช้สารอินทรีย์เคมีทำการออกซิไดส์สิ่งสกปรก แต่วิธีนี้มีประสิทธิภาพน้อยกว่า การใช้สารอินทรีย์เคมีเป็นตัวละลายสิ่งสกปรก (21) แต่วิธีที่ดีที่สุดในปัจจุบันได้แก่ การนำถ่านดูดติดไปเผาในเตาแบบ multiple hearth โดยควบคุมการเผาไหม้ให้โมเลกุลของสิ่งสกปรกระเหยออกมาและถูกเผาไหม้ไปดังแสดงในภาพที่ 2.6 ขั้นตอนต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

1. ถ่านดูดติดที่หมดสมรรถนะภาพแล้วจะถูกรวมกับน้ำเป็นสารละลายขุ่น (Slurry) และจะถูกสูบเข้าไปในระบบปรับคืนคุณภาพ
 2. แยกถ่านดูดติดออกจากน้ำ แล้วส่งเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1500-1700 ฟ ควบคุมการเผาไหม้ให้โมเลกุลของสิ่งสกปรกในรูของถ่านระเหยเป็นไอและถูกเผาละลายตัวไป
 3. ถ่านดูดติดที่ร้อนจัดถูกทำให้เย็นโดยจุ่มลงในน้ำ (Quenching)
 4. ถ่านที่เย็นแล้วถูกนำไปล้างแยกเศษถ่านออก เพื่อเก็บไปใช้งานได้อีก
- แต่ละขั้นตอนถ่านจะสูญหาย 2 ถึง 10 % และสิ้นเวลาใช้ทั้งหมดประมาณ 30 นาที

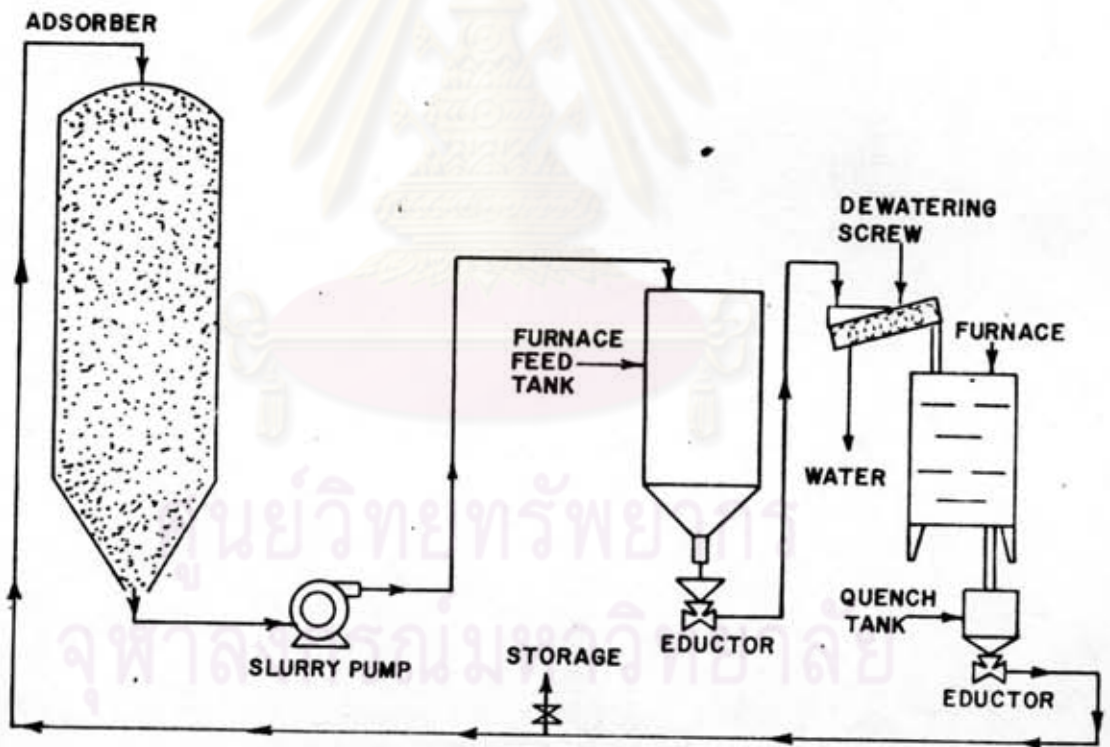
2.4.3 การประเมินและเลือกใช้ถ่าน (Carbon Evaluation and Selection)

ในการใช้ถ่านแอกติเวเต็ดคาร์บอนในการบำบัดน้ำเสียหรือระบบประปา เพื่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด ค่าเป็นต้องมีการคัดเลือกแอกติเวเต็ดคาร์บอนที่เหมาะสมและรูปแบบของการดำเนินงาน โดยการทำการทดลองวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่าน ลักษณะคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์เคมีของน้ำเสีย คุณภาพของน้ำทิ้งที่ต้องการวิธีการบำบัดตลอดจนความสะดวกในการควบคุมระบบ ฯลฯ เป็นแฟคเตอร์สำคัญในการเลือกชนิดและรูปแบบในการใช้งานของคาร์บอน

ลักษณะสมบัติของถ่านที่เป็นตัวกำหนดในการใช้งาน ได้แก่

1. พื้นผิว (Surface area) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดติด ถ่านที่มีพื้นผิวมากมีความสามารถในการดูดติดมาก
2. ความหนาแน่นประจักษ์ (Apparent density) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการปรับคืนสภาพของถ่าน

GRANULAR CARBON REACTIVATION CYCLE



รูปที่ 2.6 วิธีการฟื้นฟูคุณภาพถ่านด้วยการเผา

3. ความหนาแน่นก้อน (Bulk density) เป็นตัวกำหนดปริมาณของถ่านในแต่ละงาน
4. ขนาดใช้งาน (Effective size) เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (mean particle diameter) และสัมประสิทธิ์ของความเสมอกัน (Uniformity coefficient) ใช้ในการกำหนดภาวะทางชลศาสตร์ (Hydraulic conditions) ของคอลัมน์ดูดติด (adsorber column)
5. ปริมาตรรูพรุน (Pore Volume) เป็นตัวกำหนดการดูดติดโมเลกุลของน้ำเสีย
6. ซีฟอนาไลซิส (Sieve Analysis) ใช้เป็นตัวตรวจสอบ plant-handling effect ของถ่าน
7. อบราชัน นัมเบอร์ (Abrasion Number) ใช้ในการประเมินความคงทนต่อการขัดสี
8. ปริมาณร้อยละของเถ้าถ่าน (Ash Percent) แสดงถึงกากของแอกติเวเต็ดคาร์บอน
9. ความชื้น (Moisture) แสดงปริมาณน้ำในถ่านจากการผลิต
10. ไอโอดีน นัมเบอร์ (Iodine number) เป็นตัวกำหนดความสามารถของถ่านในการดูดติดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ
11. โมลาล์สเล่ส นัมเบอร์ (Molasses number) เป็นตัวกำหนดความสามารถของถ่านในการดูดติดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง
12. ขนาดของรูพรุน (Pore size) กำหนดความสามารถในการดูดติดโมเลกุลจำเพาะบางชนิด (Specific molecules)

ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดติดของถ่านและความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดติดแสดงได้ในรูป Adsorption Isotherm การทำ Adsorption Isotherm จะต้องทำในห้องทดลองโดยควบคุมพีเอช ปริมาณสารและอุณหภูมิคงที่และจากการทำ Adsorption Isotherm ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณถ่านอย่างคร่าว ๆ ที่จะใช้ในการบำบัดเพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่มีคุณภาพตามต้องการ และใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านชนิดต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกถ่านที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานนั้น ๆ

ในการออกแบบระบบการดูดติดด้วยถ่าน จำเป็นต้องทำการศึกษทดลองเพื่อเลือกถ่าน

ที่ดีที่สุด และหาค่ากำหนดในการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด การศึกษาทดลองแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนห้องปฏิบัติการ (Laboratory Test) ได้แก่การทำ Adsorption Isotherm ซึ่งให้ข้อมูลที่บังอาจไม่เพียงพอต่อการใช้งานจริง ๆ จำเป็นต้องทดลองขั้นโรงงานทดลอง (Pilot Column Test) ต่อไป สำหรับรายละเอียดการศึกษาทดลองและการออกแบบระบบการดูดติดด้วยถ่านจะศึกษาได้จากเอกสารของ Enviromental Protection Agency เรื่อง "Process Design Manual for Carbon Adsorption" (7)

ในที่นี้ได้ทดลองหาถ่านที่เอซซีที่เหมาะสมโดยใช้สปีเป็นบันทึกฐานในการเปรียบเทียบ และ Adsorption Isotherm ในการทดลองนี้คือความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสปีที่ถูกดูดติดไปกับความเข้มข้นของสปียัง เหลืออยู่ ความสัมพันธ์นี้เขียนได้เป็น

$$X/m = kc^{1/n} \quad \dots\dots 2.4$$

- เมื่อ X = ปริมาณสปีที่ถูกดูดติดไป, เอดีเอ็มไอ
- m = น้ำหนักของถ่าน, กรัม
- k และ n = ค่าคงที่
- C = ความเข้มข้นของสปีที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้ง, เอดีเอ็มไอ

สมการ 2.4 เรียกว่า Freundlich Equation ซึ่งอาจแปรรูปได้เป็น

$$\log X/m = \log k + \frac{1}{n} \log C \quad \dots\dots 2.5$$

ดังนั้นเมื่อพล็อตความสัมพันธ์ระหว่าง X/m และ C บนกระดาษกราฟลอการิทึมจะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/n$



2.4.4 การเติมผงถ่านลงในระบบแอกติเวเต็ดสัลดจ์

การพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบและคุณภาพของน้ำทิ้ง โดยการเติมผงถ่านแอกติเวเต็ดคาร์บอนลงในระบบแอกติเวเต็ดสัลดจ์ มีบางคนเรียกว่าเป็นกระบวนการ PACT (Powdered Activated Carbon-Activated sludge Treatment)

บริษัท Du Pont ได้เริ่มทำการทดลองในปี 1971 และประสบความสำเร็จทั้งในการทดลองในห้องปฏิบัติการหุ่นต้นแบบ (pilot plant) และงานจริง (full scale) (22)

น้ำเสียโดยทั่ว ๆ ไป จะมีส่วนประกอบที่สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. สามารถย่อยสลายได้ด้วยทางชีววิทยา (biodegradable)
2. ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยทางชีววิทยา (nonbiodegradable)
3. สามารถย่อยสลายได้ด้วยทางชีววิทยาอย่างช้า ๆ (very slowly

biodegradable)

ส่วนประกอบแต่ละชนิดยังแบ่งออกเป็นสารประกอบที่สามารถดูดติดได้ (adsorbable) และสารประกอบที่ไม่สามารถดูดติดได้ (non-adsorbable) โดยตัวดูดติด (adsorbent) (23)

ตารางที่ 2.3 แสดงรายละเอียดในการย่อยสลายสารประกอบต่าง ๆ ในน้ำเสียด้วยระบบแอกติเวเต็ดสัลดจ์และระบบ PACT โดยสารประกอบประเภทที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยทางชีววิทยา (biodegradable) ชนิด adsorbable และ non-adsorbable สามารถกำจัดได้โดยระบบแอกติเวเต็ดสัลดจ์และระบบ PACT สำหรับสารประกอบประเภทไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยทางชีววิทยา (non-biodegradable) ชนิด adsorbable สามารถกำจัดได้ด้วยระบบ PACT เท่านั้น ส่วนชนิด non-adsorbable จะไม่สามารถกำจัดออกได้ด้วยวิธีแอกติเวเต็ดสัลดจ์และระบบ PACT ส่วนสารประกอบที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยทางชีววิทยาอย่างช้า ๆ (very slowly biodegradable) ชนิด adsorbable สามารถกำจัดด้วยวิธี PACT เท่านั้น สำหรับชนิด non-adsorbable นั้น เป็นไปได้ยากในการกำจัดด้วยวิธีการดูดติด

ตารางที่ 2.3 ความสามารถกำจัดสารประกอบต่าง ๆ ในน้ำเสีย (23)

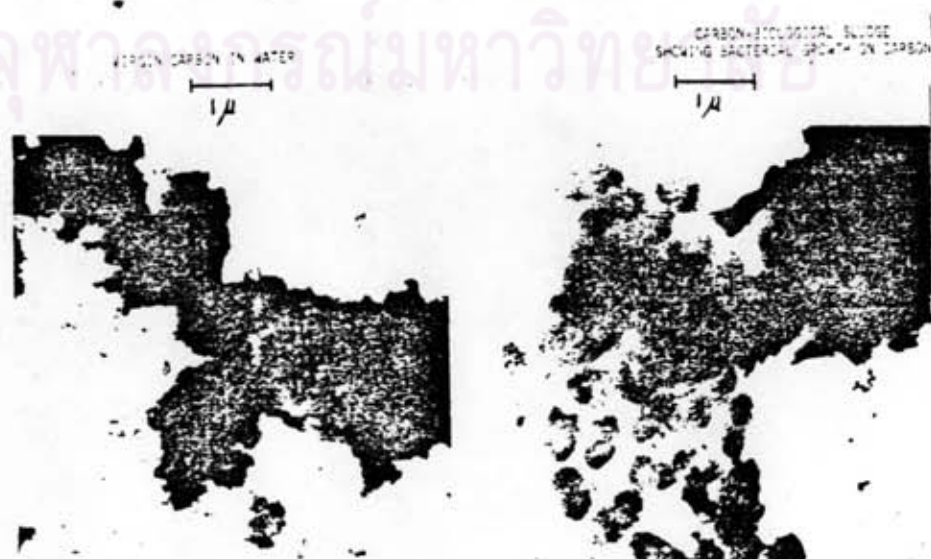
	สามารถดูดติด (adsorbable)	ไม่สามารถดูดติด (non-adsorbable)
1. สารประกอบที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยทางชีววิทยา (biodegradable)	X	X
2. สารประกอบที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยทางชีววิทยา (non-biodegradable)	0	-
3. สารประกอบที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยทางชีววิทยาอย่างช้า ๆ (very-slowly biodegradable)	0	Impossible

หมายเหตุ :

X = สามารถกำจัดโดยระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์และระบบ PACT

0 = สามารถกำจัดโดยระบบ PACT เท่านั้น

ในระบบ PACT การย่อยสลายสารอินทรีย์และการดูดด้วยผงถ่านจะเกิดขึ้นพร้อมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย จะเกิดขึ้นบนผิวของผงถ่านและจะเกาะตัวกับถ่านกลายเป็นฟล็อกสีดำ ซึ่งเมื่อหยุดเป่าอากาศตะกอนเหล่านี้จมตัวลงสู่ก้นถัง รูปที่ 2.7 แสดงการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบ PACT และการฟุ้งกระจายของถ่าน



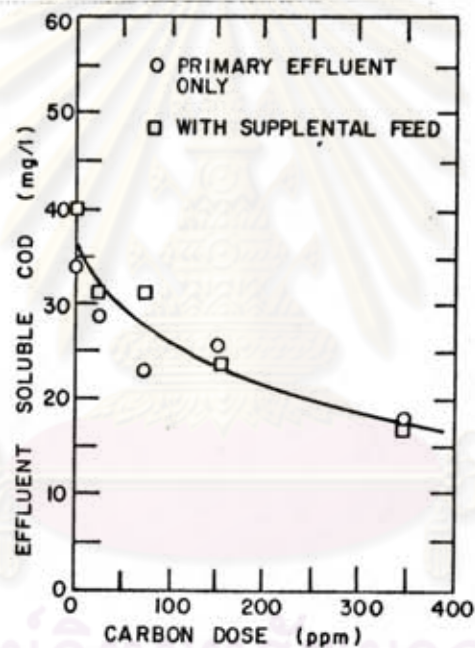
รูปที่ 2.7 การเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบ PACT และการฟุ้งกระจายของถ่าน

2.4.4.1 ตัวแปรในระบบ (process variable)

ในระบบ PACT มีตัวแปรที่สำคัญได้แก่

1. ปริมาณและชนิดของผงถ่าน

ตัวแปรที่สำคัญที่สุดในระบบ PACT คือ ปริมาณของถ่านที่จะใส่ลงไปในระบบโดยขึ้นกับชนิดของถ่านด้วย ถ่านแต่ละชนิดอาจมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ดังนั้นปริมาณและชนิดของถ่านจึงมีผลต่อการกำจัดสิ่งสกปรกออกจากน้ำเสีย ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (24)



รูปที่ 2.8 ปริมาณถ่านมีผลต่อการกำจัดซีโอดีในน้ำเสีย

ปริมาณความเข้มข้นของถ่านในถังเติมอากาศเป็นตัวแปรที่สำคัญอันหนึ่งซึ่งอาจสามารถ

คำนวณได้จากสูตร

$$MLSS_c = \frac{24 \theta_c (X_c)}{\theta}$$

$MLSS_c$ = aerator mixed liquor suspended solids due to carbon, mg/l

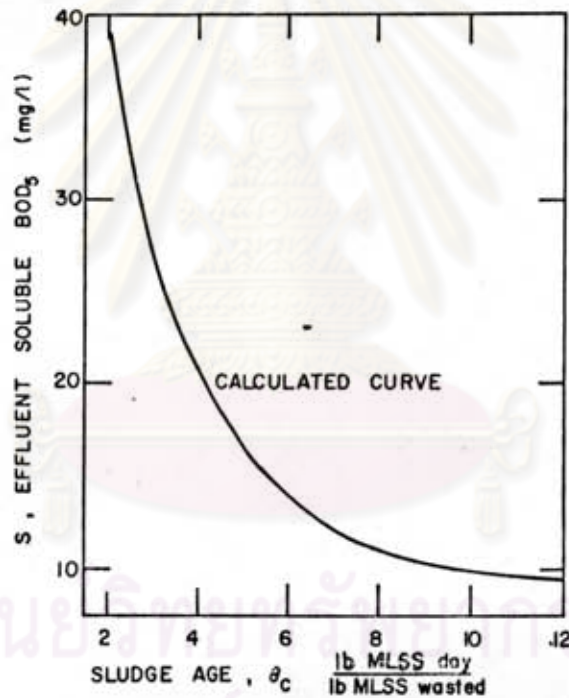
θ_c = sludge age or sludge residence time, days

θ = aeration time, hr.

X_c = carbon dosage, ppm.

2. อายุของเลนตะกอน (Sludge age, θ_c)

ในระบบบำบัดทางชีววิทยาส่วนใหญ่ใช้อายุเลนตะกอน เป็นตัวควบคุมระบบ จากผลการวิจัยของ Du Pont Chamber Works ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุเลนตะกอนและบีโอดีของน้ำทิ้งในรูปที่ 2.9 (25)



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุเลนตะกอนและบีโอดีของน้ำทิ้ง

กราฟที่ได้มีลักษณะแตกต่างไปโดยขึ้นกับปริมาณถ่านและชนิดของน้ำเสีย ส่วนค่า F/M ไม่นิยมใช้เป็นตัวควบคุมระบบ PACT เนื่องจากเป็นการยากที่จะหาค่าของจุลชีพในรูปของ MLSS และ MLVSS

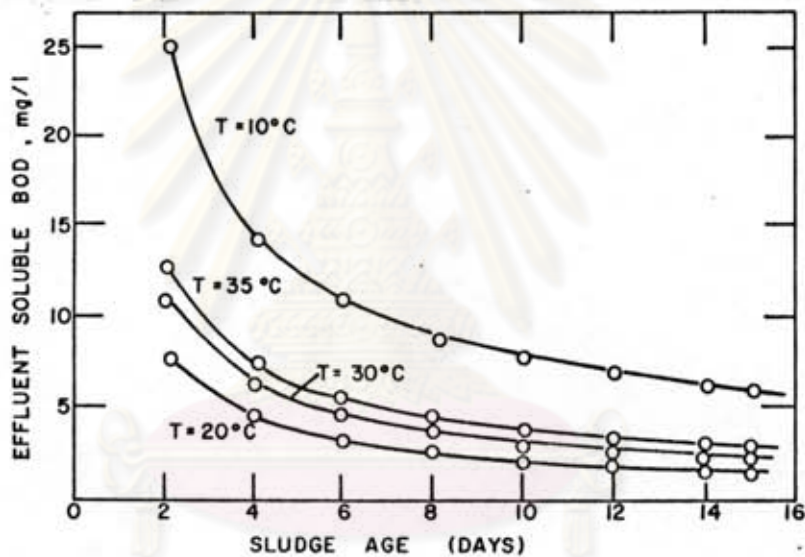
3. เวลาเติมอากาศ (aeration time)

จากการทดลองพบว่า เมื่ออายุของเลนตะกอนเท่ากัน ระบบ PACT จะมีประสิทธิภาพ

ในการบำบัดน้ำเสียดีขึ้น ถ้ามีเวลากักพักในถังเติมอากาศยาวนานขึ้น

4. จุลินทรีย์

จุลินทรีย์เป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบบำบัดทางชีววิทยา โดยเฉพาะในประเทศเขตร้อน สำหรับระบบ PACT นั้นมีประสิทธิภาพมากเมื่อเทียบกับระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ในขณะที่ดำเนินการบำบัดน้ำเสีย จุลินทรีย์ต่ำเดียวกับ Flynn ได้แสดงอิทธิพลของอายุเลนตะกอนและจุลินทรีย์ที่มีต่อบีโอดีของน้ำทิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (26)



รูปที่ 2.10 อิทธิพลของอายุตะกอนเลนและจุลินทรีย์ที่มีต่อบีโอดีของน้ำทิ้ง

2.4.3.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากระบบ PACT

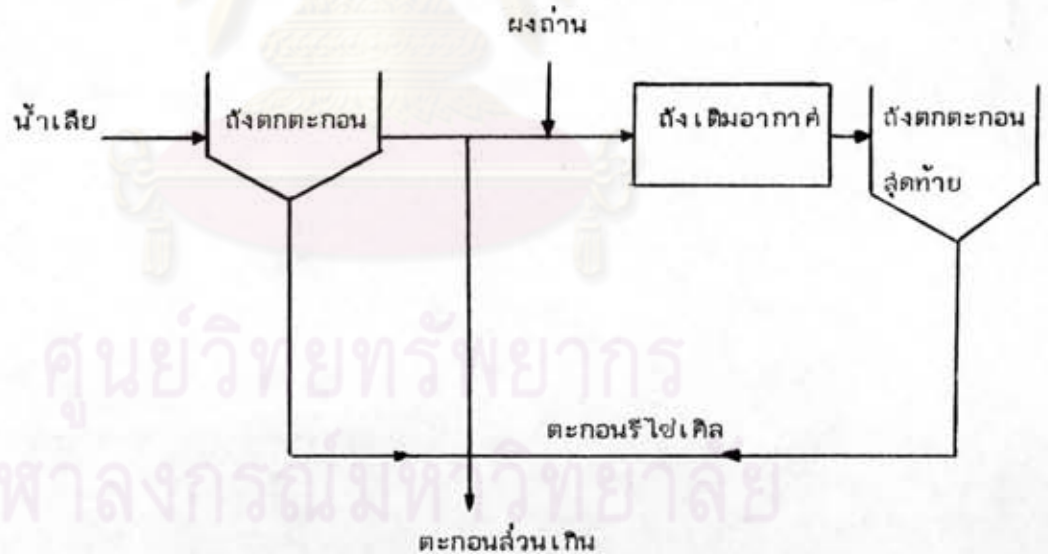
ได้มีการทำการทดลองและวิจัยหลายท่านพบว่าระบบ PACT นอกจากจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบชีววิทยาในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียแล้วยังก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านต่าง ๆ อีกด้วยคือ

1. ทำให้ระบบสามารถคงตัว (stability) ต่อภาวะช็อก (shock load) และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาก ๆ ได้
2. เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ประเภท non-biodegradable
3. สามารถกำจัดสีได้

4. สามารถกำจัดสารพิษที่ Environmental Protection Agency กำหนด
5. ต้านทานพวก biologically toxic substances ในน้ำเสียได้
6. ปรับปรุงความสามารถในการรับปริมาณน้ำเสียของระบบบำบัดเดิมให้มากขึ้นได้
(hydraulic capacity of existing plant)
7. ปรับปรุงขบวนการในตรีพีเคชั่น
8. ลดฟองในถังเติมอากาศ
9. ช่วยในการตกตะกอน, การทำให้หนาแน่น (thickening) และการทำให้แห้ง
(dewatering)
10. ลดการเกิดปัญหาด้านเลนไม่จมตัวหรือเลนฮึด (sludge bulking)

ในระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ได้มีการเติมผงถ่านลงในถังเติมอากาศ ดังแสดงในรูปที่

2.11 ผงถ่านที่จะฟุ้งกระจายทั่วถังเติมอากาศทำหน้าที่ดูดติดมลสารในน้ำเสียและในขณะเดียวกัน
ปั๊มก็จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์พร้อมกันไปด้วย



รูปที่ 2.11 ผังระบบ PACT