



๓.๑ ระบบแอกทีเวตเต็ดสลัดจ์

(Activated Sludge Process)

การกำจัดน้ำทิ้งเป็นการทำให้น้ำทิ้งนั้น ๆ มีปริมาณความสกปรก ( BOD, COD และ SS) น้อยลงพอที่จะปล่อยลงสู่น้ำลำคลองได้โดยไม่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย ( pollution) ขึ้น การกำจัดน้ำทิ้งมีหลายวิธีด้วยกัน แต่วิธีที่นิยมใช้กันมากคือวิธีทางชีววิทยา (biological treatment) ซึ่งเป็นการกำจัดน้ำทิ้งโดยใช้สิ่งมีชีวิต เช่น แบคทีเรีย ฯลฯ เป็นต้นทำให้น้ำทิ้งนั้น ๆ ลดความสกปรกลง การกำจัดน้ำทิ้งทางชีววิทยาแบ่งตามลักษณะการใช้ออกซิเจนของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ ได้เป็น ๒ แบบ คือ

ก. การกำจัดโดยใช้ออกซิเจน (aerobic treatment) เป็นวิธีการกำจัดที่สิ่งมีชีวิตซึ่งเป็นตัวช่วยกำจัดน้ำทิ้งต้องการใช้ออกซิเจน มีหลายระบบด้วยกันได้แก่ ทรिकлингฟิลเตอร์ (Trickling Filter) บ่อเขียว (Oxidation Pond) แอกทีเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) เครื่องกรองไบโโอลจิคอลลิตส์ (Biological Disc Filters)

ข. การกำจัดโดยไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic treatment) เป็นวิธีการกำจัดที่ใช้สิ่งมีชีวิตซึ่งไม่ต้องการให้ออกซิเจนอิสระในการดำรงชีวิตเป็นตัวช่วยกำจัดน้ำทิ้ง มีหลายระบบด้วยกันได้แก่ บ่อหมัก (Anaerobic Lagoons), แอนแอโรบิก ไดเจสชัน (Anaerobic Digestion) แอนแอโรบิก คอนแทค (Anaerobic Cont act) แอนแอโรบิกฟิลเตอร์ (Anaerobic Filters) ฯลฯ

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ใช้ระบบแอกทีเวตเต็ดสลัดจ์จึงจะขอกล่าวถึงรายละเอียดต่าง ๆ ของระบบนี้เท่านั้น

แอกทีเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) หมายถึงตะกอนจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์จากน้ำทิ้งหรือแหล่งอื่น ๆ เมื่อมีออกซิเจนอย่างเพียงพอ ตะกอนจุลินทรีย์นี้ประกอบด้วยแบคทีเรียเป็นส่วนใหญ่และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เช่น โปรโตซัว โรติเฟอร์ ฯลฯ เมื่อมีการเจริญเติบโตขึ้นสามารถจะรวมตัวกันเป็นตะกอนเล็ก ๆ

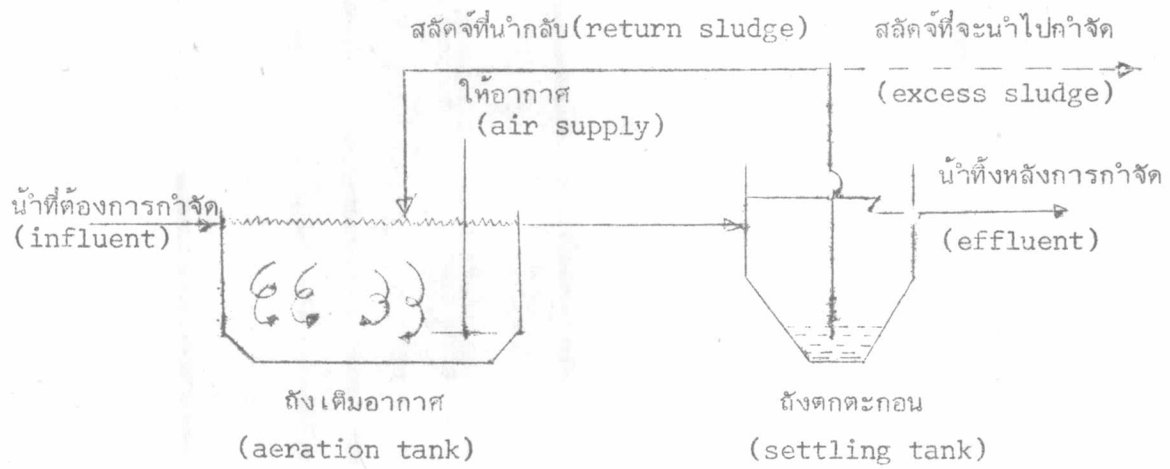
ที่เรียกว่า "floc"

ระบบแอกทีเวตเตดสลัดจ์ (Activated Sludge Process) หมายถึงระบบ  
กำจัดน้ำทิ้งทางชีววิทยา ซึ่งมีการผสมและคนให้เข้ากันระหว่างน้ำทิ้งและแอกทีเวตเตดสลัดจ์  
โดยได้รับอากาศอย่างทั่วถึง แอกทีเวตเตดสลัดจ์สามารถแยกออกจากส่วนที่เป็นของเหลวได้  
โดยการตกตะกอน (sedimentation) สลัดจ์ส่วนที่ตกตะกอนนี้ส่วนหนึ่งจะถูกนำกลับเข้าสู่ถัง  
เติมอากาศอีกครั้งหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งซึ่งมากเกินไปเกินความต้องการ (excess) จะถูกสูบออก  
เพื่อกำจัดต่อไป น้ำทิ้งหลังการกำจัด (effluent) จะล้นออกตามรางรอบ ๆ ขอบถัง  
ตกตะกอน

๓.๑.๑ ลักษณะทั่ว ๆ ไปของระบบแอกทีเวตเตดสลัดจ์

แผนผังทั่ว ๆ ไปของการกำจัดน้ำทิ้งโดยระบบแอกทีเวตเตดสลัดจ์แสดง

ดังรูปที่ ๓



รูปที่ ๓ แสดงแผนผังทั่วไปของการกำจัดน้ำทิ้งโดยระบบแอกทีเวตเตดสลัดจ์  
โครงสร้างที่นับว่าเป็นหัวใจสำคัญต่อระบบแอกทีเวตเตดสลัดจ์คือ ถังเติมอากาศ (aeration  
tank) และถังตกตะกอน (settling tank) น้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์ซึ่งสามารถย่อย

สลายทางชีววิทยาได้เมื่อเข้าสู่ถังเติมอากาศจะถูกย่อยสลายโดยพืชและสัตว์ (flora and fauna) ซึ่งอยู่ในถังเติมอากาศที่เรียกว่า แอคทีเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) น้ำทิ้งก่อนการกำจัด (influent wastewater) รวมกับแอคทีเวตเต็ดสลัดจ์เรียกว่า Mixed Liquor และตะกอนสลัดจ์ (sludge solids) ที่อยู่ในระบบนี้เรียกว่า Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)

Mixed Liquor จะถูกปล่อยออกจากถังเติมอากาศเข้าสู่ถังตกตะกอน (settling tank) ทำให้แอคทีเวตเต็ดสลัดจ์ตกตะกอนสู่ก้นถังและจะถูกน้ำกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศอีก น้ำทิ้งจากถังตกตะกอนจะล้น (overflow) เข้าสู่ระบบน้ำทิ้งหลังการกำจัด (effluent system) ปกติสลัดจ์จะเพิ่มจำนวนมากขึ้นจึงต้องการการกำจัดสลัดจ์ออกจากระบบ

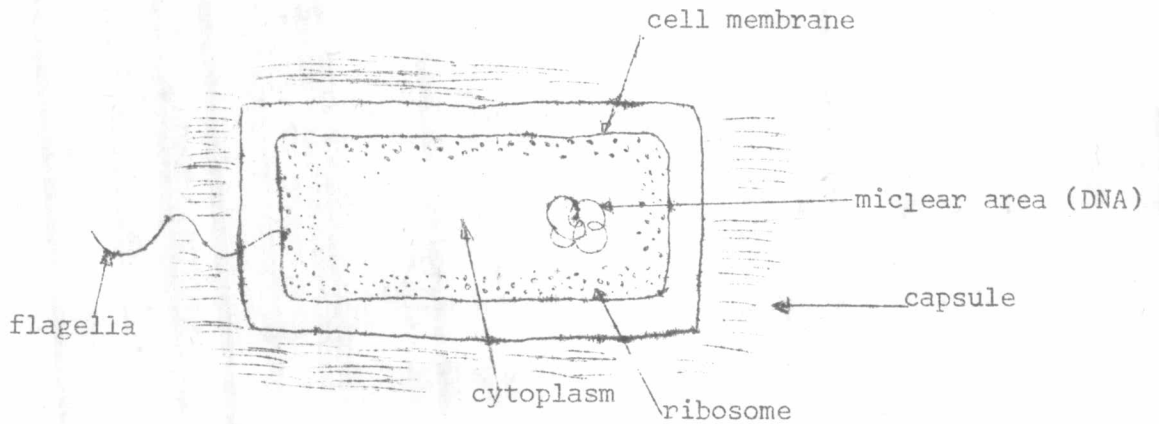
### ๓.๑.๒ ชีววิทยาของระบบแอคทีเวตเต็ดสลัดจ์

ระบบแอคทีเวตเต็ดสลัดจ์เป็นการกำจัดน้ำทิ้งทางชีววิทยา ต้องอาศัยสิ่งมีชีวิตเป็นตัวช่วยเหลือในการกำจัด ดังนั้นก่อนที่จะรู้ถึงหลักในการออกแบบระบบกำจัดน้ำทิ้งทางชีววิทยา หรือการเลือกชนิดของระบบกำจัดน้ำทิ้งที่จะใช้จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับลักษณะโครงสร้างและการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์เสียก่อน

#### ๓.๑.๒.๑ แนวความคิดพื้นฐานเกี่ยวกับจุลินทรีย์

ในสมัยก่อนจุลินทรีย์แบ่งออกเป็น ๒ อาณาจักร (kingdom) คือพืช (plant) และสัตว์ (animal) แต่ในปัจจุบันแบ่งจุลินทรีย์ออกเป็น ๓ อาณาจักร คือ โปรติสตา (protista) พืชและสัตว์ ลักษณะต่าง ๆ ของจุลินทรีย์แต่ละอาณาจักรแสดงดังตารางที่ ๔

001982



รูปที่ ๔ แสดงลักษณะโครงสร้างของเซลล์แบคทีเรีย  
(จาก Metcalf & Eddy, 1972)

ตารางที่ ๔ แสดงลักษณะของจุลินทรีย์ในอาณาจักรต่าง ๆ

Kingdom	Representative member	Characteristics
Aminal	Rotifers	Multicellular with tissues differentiation
	Crustaceans	
Plant	Mosses	
	Ferns	
Protista: Higher*	Algae	Unicellular or multicellular without differentiation
	Protozoas	
	Fungi	
	Slime molds	
Lower †	Blue-green algae	
	Bacteria	

\* contain true nucleus (eucaryotic cells)

† contain no nuclear membrane (procaryotic cells)

(จาก Metcalf & Eddy, 1972)

ผนังเซลล์ (cell wall) อาจเป็นพวกเยื่อบาง ๆ ซึ่งแข็งหรือปิดงอได้ การเคลื่อนไหวใช้หนวด (flagella) หรือสิ่งที่ยื่นออกมาคล้ายขน ภายในเซลล์ประกอบด้วยสารคอลลอยด์ของพวกโปรตีนคาร์โบไฮเดรต และสารประกอบเชิงซ้อนของอินทรีย์อื่น ๆ รวมเรียกว่าไซโตพลาสซึม (cytoplasm)

เซลล์แต่ละเซลล์ประกอบด้วย Nucleic Acid ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสืบพันธุ์ ในไซโตพลาสซึมประกอบด้วย Ribonucleic Acid (RNA) มีหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน ภายในผนังเซลล์มี Deoxyribonucleic Acid (DNA) ซึ่งเป็นแหล่งของข้อความสำคัญที่จำเป็นต่อการสืบพันธุ์ทั้งหมด เซลล์บางชนิด DNA จะถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อบาง ๆ (membrane) และมีนิวเคลียสชัดเจน (eucaryotic cells) เซลล์บางชนิดนิวเคลียสไม่ชัดเจน (procaryotic cells) ได้แก่พวกแบคทีเรียและสาหร่ายสีน้ำเงินอมเขียว

จุลินทรีย์จะต้องมีแหล่งของพลังงานและคาร์บอนเพื่อใช้สำหรับสร้างเซลล์ และธาตุที่สำคัญต่อการสังเคราะห์เซลล์ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและธาตุที่จำเป็น (traces element) อื่น ๆ ซึ่งได้แก่ซัลเฟอร์ โปแตสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียม จุลินทรีย์อาจแบ่งตามแหล่งของพลังงานและคาร์บอนที่ใช้ดังตารางที่ ๕ จุลินทรีย์ที่ต้องการใช้คาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์หรือจากสารอนินทรีย์และสามารถทำการสังเคราะห์แสงเมื่อมีแสงสว่าง เรียกว่า Autotrophic Organisms ถ้าใช้คาร์บอนจากสารอินทรีย์เรียกจุลินทรีย์นั้นว่า Heterotrophic Organisms พวก Autotrophic Organisms ที่ใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสงเรียกจุลินทรีย์เหล่านี้ว่า Autotrophic Photosynthetic Organisms แต่ถ้าใช้พลังงานจากปฏิกิริยา oxidation-reduction ของสารอนินทรีย์ เรียก Autotrophic Chemosynthetic Organisms

ตารางที่ ๕ แสดงการแบ่งชนิดของจุลินทรีย์ตามแหล่งขอ พลังงานและคาร์บอน  
(จาก Metcalf & Eddy, 1972)

Classification	Energy Source	Carbon Source
Autotrophic:		
Photosynthetic	Light	CO <sub>2</sub>
Chemosynthetic	Inorganic Oxidation- reduction reaction	CO <sub>2</sub>
Heterotrophic	Organic oxidation- reduction reaction	Organic carbon

นอกจากนี้ชนิดของจุลินทรีย์ยังแบ่งตามการใช้ ออกซิเจนได้เป็น ๓ ชนิดคือ

ก. Aerobic Organisms เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการใช้ออกซิเจนอิสระใน  
การเผาผลาญสารอินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงาน

ข. Anaerobic Organisms เป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการใช้ออกซิเจนอิสระ  
ในการเผาผลาญสารอินทรีย์ แต่ใช้ออกซิเจนจากสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์อื่น ๆ เช่น  
ไนเตรต (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) และซัลเฟต (SO<sub>4</sub><sup>=</sup>) เป็นต้น

ค. Facultative Organisms เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งแบบ  
ที่มีและไม่มีออกซิเจนอิสระ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมของตัวมัน

๓.๑.๒.๒ จุลินทรีย์ที่สำคัญต่อระบบกำจัดน้ำทิ้งทางชีววิทยา

วิศวกรทางค้ำานสุขาภิบาลจำเป็นต้องรู้ถึงคุณลักษณะของจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญต่อระบบกำจัดน้ำทิ้งทางชีววิทยาซึ่งมีดังนี้

๑. แบคทีเรีย (Bacteria) เป็นพวกโปรติสตา (Protista) มีเซลล์เดี่ยวใช้อาหารซึ่งอยู่ในรูปสารละลาย มักพบได้ทุกหนทุกแห่งที่มีความชื้นและที่มีอาหารตามที่มีต้องการ ปกติขยายพันธุ์โดยการแบ่งตัวออกเป็นสองส่วนอย่างง่าย ๆ (binary fission) แต่บางชนิดอาจเป็นแบบอาศัยเพศ (sexually) หรือแตกหน่อ (budding) รูปร่างของแบคทีเรียโดยทั่ว ๆ ไปแบ่งออกเป็น ๓ แบบ คือ

- ก. ทรงกลม (spherical) มักมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๐.๕ ถึง ๑.๐ ไมครอน
- ข. ทรงกระบอก (cylindrical หรือ rod) มีความกว้างประมาณ ๐.๕ ถึง ๑.๐ ไมครอน มีความยาว ๑.๕ ถึง ๓.๐ ไมครอน
- ค. รูปเกลียว (helical หรือ spiral) มีความกว้าง ๐.๕ ถึง ๕.๐ ไมครอน มีความยาว ๖ ถึง ๑๕ ไมครอน

ส่วนประกอบของแบคทีเรียมี น้ำ ๘๐% และส่วนที่เป็นเนื้อ (dry material) อีก ๒๐% ซึ่งส่วนที่เป็นเนื้อประกอบด้วยสารอินทรีย์ ๘๐% และอนินทรีย์อีก ๑๐% สูตรทั่วไปของแบคทีเรียคือ  $C_5H_7O_2N$  โดยเป็นน้ำหนักของคาร์บอนถึง ๕๓% นอกนั้นเป็นพวกสารประกอบอนินทรีย์ซึ่งมี  $P_2O_5$  50%  $SO_3$  15%  $Na_2O$  11%  $CaO$  9%  $MgO$  8%  $K_2O$  6% และ  $Fe_2O_3$  1% สารอนินทรีย์ดังกล่าวนี้แบคทีเรียหาได้จากสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบ ๆ ตัวมัน ในกรณีที่มีสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ตัวมันไม่มีสารเหล่านี้จะทำให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียช้าลงผิดปกติ

๒. โปรโตซัว (protozoa) เป็นสัตว์เซลล์เดียว เคลื่อนไหวไปมาได้ ขยายพันธุ์แบบแบ่งตัวออกเป็นสองส่วนอย่างง่าย ๆ (binary fission) สามารถกินอาหารได้ทั้งที่อยู่ในรูปของของเหลวและของแข็ง จัดอยู่ในพวก aerobic heterotrophs มีส่วนน้อยที่เป็นพวกไม่ต้องการออกซิเจนอิสระ (anaerobic) โดยทั่วไปโปรโตซัวมีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรียจึงใช้แบคทีเรียเป็นอาหารเพื่อสร้างพลัง จึงมีหน้าที่ทำให้น้ำทิ้งหลังการกำจัด (effluent) ปราศจากแบคทีเรียและสารอินทรีย์เรียกว่า polisher โปรโตซัวแบ่งออกได้เป็น ๕ กลุ่ม

(๑) Sarcodina ลักษณะพิเศษคือมี pseudopods หรือเท้าปลอมเพื่อใช้ในการเคลื่อนไหวและจับอาหาร ตัวอย่างของโปรโตซัวชนิดนี้คือ Amoeba spp., Vahlkampfia spp. เป็นต้น

(๒) Mastigophora ลักษณะพิเศษคือมีหนวด (flagella) ช่วยในการเคลื่อนไหว นักจุลชีววิทยาแบ่ง Mastigophora ออกเป็น ๒ กลุ่ม คือ

ก. Phytomastigophora เป็นโปรโตซัวที่มีคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ได้แก่ Euglena spp., Phacus spp. ฯลฯ มีลักษณะคล้ายพวกสาหร่าย (algae) แต่ต่างกับที่โปรโตซัวชนิดนี้ไม่สังเคราะห์แสง (photosynthesis) ใช้อาหารเหลวเช่นเดียวกับแบคทีเรียโดยซึมเข้าสู่ผนังเซลล์

ข. Zoomastigophora เป็นโปรโตซัวที่ไม่มีคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ได้แก่ Astasia spp. ฯลฯ ซึ่งสามารถกินอาหารที่เป็นของแข็งได้ อาหารของมันได้แก่แบคทีเรีย สาหร่าย และโปรโตซัวอื่น ๆ

(๓) Sporozoa ลักษณะพิเศษคือมีสปอร์ (spore) จัดเป็นพวกพาราสิต มีวงจรชีวิตที่สลับซับซ้อนไม่มีความสำคัญในการกำจัดน้ำโสโครก แต่มีความสำคัญต่อสุขภาพอนามัยของคน เช่น Plasmodium vivax ฯลฯ เป็นโปรโตซัวที่ทำให้เกิดโรคมาเลเรีย ในคน



(๔) Ciliata หรือ Infusoria ลักษณะพิเศษคือมีขนสั้น ๆ อยู่รอบตัว (cilia) ในการเคลื่อนไหวและจับอาหารที่เป็นของแข็ง เป็นโปรโตซัวที่มีความสำคัญในการช่วยลดการเน่าเสียของแหล่งน้ำและระบบกำจัดน้ำโสโครกทางชีววิทยา แบ่งโปรโตซัวชนิดนี้ออกเป็น ๒ พวกดังนี้

ก. Free-swimming Ciliata สามารถเคลื่อนไหวในของเหลวได้รวดเร็ว กินสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็ง ต้องการอาหารจำนวนมากเพื่อใช้เป็นพลังงานในการเคลื่อนไหวในน้ำ โปรโตซัวชนิดนี้ได้แก่ Paramecium spp., Colpidium spp.

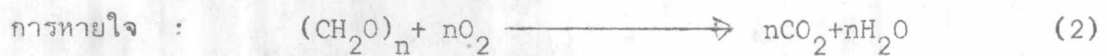
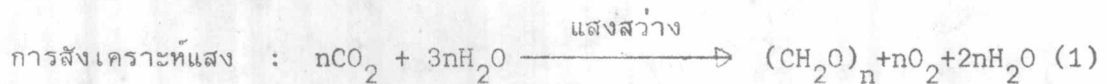
ข. Stalked Ciliata เป็นโปรโตซัวที่ต้องการยึดเกาะอยู่กับอนุภาคอื่น เช่น Vorticella spp., Opercularia spp. เป็นต้น หรืออนุภาคอื่น ๆ และใช้ขนสั้น ๆ ที่อยู่รอบตัว (cilia) จับอาหารแข็งที่ผ่านไปมา พวกนี้ต้องการอาหารน้อยกว่าพวกแรกเนื่องจากมีการเคลื่อนไหวไม่รวดเร็วเหมือนพวกแรก

(๕) Suctorina เป็นโปรโตซัวอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีวงจรชีวิตเป็น ๒ ระยะ คือระยะแรกสามารถเคลื่อนไหวโดยขนสั้น ๆ รอบตัว (cilia) ไปมาโดยอิสระได้ และระยะที่สองเมื่อโตเต็มที่จะยึดเกาะกับอนุภาคอื่น ๆ จะปรากฏมีหนวด (tentacle) ชัดเจนเกิดขึ้นจึงใช้สำหรับจับพวกโปรโตซัวหรือสิ่งที่มีชีวิตอื่น ๆ ที่ว่ายไปมาเป็นอาหาร โปรโตซัวชนิดนี้มักไม่ค่อยพบในระบบแอกทิเวตเทตสลิคจ์

๓. โรติเฟอร์ (Rotifer) จัดอยู่ในสัตว์ชั้นสูงกว่าแบคทีเรียเป็นสัตว์หลายเซลล์ การที่เรียกโรติเฟอร์เพราะการเคลื่อนไหวโดยขนสั้นรอบหัวของมันซึ่งแยกเป็น ๒ กลุ่ม ทำให้การเคลื่อนไหวมีประสิทธิภาพหมุนตัวไปอย่างรวดเร็ว โรติเฟอร์มีเท้า (toe) สำหรับเกาะกับอนุภาคอื่น ๆ ได้ พวกนี้สามารถกินแบคทีเรียทั้งที่กำลังว่ายอยู่หรือที่อยู่ในรูปตะกอนรวมทั้งสารอินทรีย์

๔. รา (Fungi) เป็นพวกโพรติสตา (protista) ที่มีเซลล์เดี่ยวแต่อยู่เป็นกลุ่มไม่สามารถสังเคราะห์แสงและจัดเป็นพวก heterotrophs จึงใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งให้คาร์บอนและพลังงาน เจริญเติบโตได้ในที่มีความชื้นและ pH ต่ำ ส่วนใหญ่เป็นพวกใช้ออกซิเจนอิสระและมีความต้องการไนโตรเจนน้อยกว่าแบคทีเรียถึงครึ่งเท่า รา หรือ mold มีความหมายทางด้านวิศวกรรมสุขาภิบาลเหมือนกันกับยีสต์ (yeasts) เป็นพืชเซลล์เดี่ยวชนิดหนึ่งซึ่งไม่มีคลอโรฟิลล์ มีลักษณะเป็นเซลล์กลม ๆ อาจจะมีหน่อแตกอยู่ข้าง ๆ ส่วนมากจะอยู่ในที่ ๆ ไม่มีออกซิเจนอิสระ ดังนั้นจึงไม่พบในระบบกำจัดแบบแอคทีเวตเต็ดสลัดจ์

๕. สาหร่าย (Algae) สาหร่ายเป็นโพรติสตาที่มีเซลล์เดี่ยวมีคลอโรฟิลล์อยู่ภายในเซลล์ มีความสำคัญต่อการกำจัดน้ำทิ้งแบบบ่อเขียว (Oxidation Pond) มากเพราะเป็นแหล่งให้ออกซิเจนซึ่งได้จากการสังเคราะห์แสงของมัน แต่ในเวลากลางวันสาหร่ายจะใช้ออกซิเจนในการหายใจ การหายใจของสาหร่ายจะเกิดขึ้นในเวลากลางวันด้วย แต่รวมปฏิกิริยาที่เกิดจากการสังเคราะห์แสงและการหายใจของสาหร่ายแล้วผลลัพธ์จะให้ออกซิเจน สมการที่ 1 และ 2 เป็นสมการแสดงปฏิกิริยาทางชีววิทยาสำหรับการสังเคราะห์แสงและการหายใจตามลำดับ



สาหร่ายต้องการสารประกอบอินทรีย์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตเหมือนจุลินทรีย์อื่น ๆ อาหารหลักที่สาหร่ายต้องการนอกจากคาร์บอนไดออกไซด์คือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ธาตุจำเป็นอื่น ๆ เช่น เหล็ก ทองแดง โมลิบดีนัม ก็นับว่ามีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายมาก

๓.๑.๒.๓ ความสำคัญของจุลินทรีย์ต่อระบบแอกทีเวตเสดสลัดจ์

จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญต่อระบบแอกทีเวตเสดสลัดจ์ได้แก่ แบคทีเรีย โปรโตซัว โรติเฟอร์ เป็นต้น ที่นับว่าสำคัญที่สุดคือแบคทีเรียช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์และสร้างตะกอนเล็ก ๆ แบคทีเรียทุกชนิดสามารถทำให้เกิดแอกทีเวตเสดสลัดจ์ได้ แบคทีเรียชนิดที่พบเป็นจำนวนมากในแอกทีเวตเสดสลัดจ์ยังใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ชนิดของสารอินทรีย์ที่ประกอบอยู่ในน้ำทิ้งนั้น ๆ เช่น น้ำทิ้งที่มีโปรตีน จะพบแบคทีเรียชนิด Alcaligenes spp., Flavobacterium spp. และ Bacillus spp. อยู่ในแอกทีเวตเสดสลัดจ์เป็นจำนวนมาก ส่วนน้ำทิ้งที่มีคาร์โบไฮเดรตหรือไฮโดรคาร์บอนจะพบแบคทีเรียชนิด Pseudomonas spp. อยู่ในแอกทีเวตเสดสลัดจ์เป็นจำนวนมาก สมัยก่อนมีความเข้าใจกันว่าแอกทีเวตเสดสลัดจ์ประกอบด้วยแบคทีเรียพวก Zoogloea ramigera เพียงอย่างเดียว แต่ภายหลังกลับพบว่าแบคทีเรียชนิดนี้มีอยู่ในแอกทีเวตเสดสลัดจ์ปริมาณน้อยมาก

การกำจัดน้ำทิ้งด้วยระบบแอกทีเวตเสดสลัดจ์ไม่ต้องการให้มีราเกิดขึ้น เนื่องจากราทำให้เกิดปัญหาการลอยตัวของสลัดจ์เป็นเหตุให้น้ำทิ้งหลังการกำจัดมีค่า COD, BOD และ SS อยู่สูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้ง ราที่เกิดในระบบแอกทีเวตเสดสลัดจ์อาจเนื่องมาจากการที่น้ำทิ้งมีคาร์โบไฮเดรตอยู่สูงมี pH ต่ำ และขาดอาหารเสริม (nutrient) ราที่พบในระบบแอกทีเวตเสดสลัดจ์มักเป็นพวกมีเส้นใย (filamentous form) แต่บางครั้งก็อาจจะพบราที่ไม่มีเส้นใยอยู่ก็ได้

โปรโตซัวไม่เป็นตัวช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งโดยตรง เพราะเซลล์ของโปรโตซัวมีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย ดังนั้นมันจึงต้องการอาหารปริมาณมากกว่าแบคทีเรีย สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งมีปริมาณอาหารน้อยกว่าความต้องการของโปรโตซัว โปรโตซัวดำรงชีวิตอยู่ในระบบแอกทิเวตเตดสลัดจ์ด้วยการกินแบคทีเรียเป็นอาหาร McKinney และ Gram (๑๙๕๒) ได้เสนอแนะแนวทางในการดูประสิทธิภาพการทำงานของระบบแอกทิเวตเตดสลัดจ์ โดยสัมพันธ์กับชนิดของโปรโตซัวที่พบมากกว่าชนิดอื่น ๆ เนื่องจากโปรโตซัวมีความไวต่อความรู้สึกมากและอาจตายได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นเขาจึงเสนอแนะว่า

- ถ้าพบ Sarcodina (ซึ่งปกติมักไม่ค่อยพบ) แสดงว่าระบบอยู่ในระยะเริ่มหรือ เพิ่งพ้นจากสภาวะแวดล้อมที่เป็นพิษ

- ถ้าพบพวกที่เคลื่อนไหวโดยใช้หนวด (Holophytic Flagellates) แสดงว่าประสิทธิภาพในการกำจัดของระบบต่ำ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งก่อนและหลังการกำจัดมีค่าสูง

- ถ้าพบพวกที่มีขนอยู่รอบตัวซึ่งช่วยในการเคลื่อนไหว (Ciliates) แสดงว่ามีแบคทีเรียอยู่ในระบบเป็นจำนวนมาก ประสิทธิภาพในการกำจัดประมาณ ๕๐%

- ถ้าพบพวกโปรโตซัวที่มีขนช่วยในการเคลื่อนไหวและมีก้านเพื่อใช้เกาะกับอนุภาคต่าง ๆ (Stalked Ciliates) แสดงว่าน้ำทิ้งมี BOD ต่ำและมักไม่พบโปรโตซัวชนิดอื่น ๆ ปนอยู่ด้วย

- ถ้าพบ โรติเฟอร์ แสดงว่าระบบกำลังอยู่ในสภาวะที่ BOD Loading ต่ำมาก และประสิทธิภาพในการกำจัดสูงมาก ซึ่งมักพบในระบบแอกทิเวตเตดสลัดจ์แบบ Extended Aeration

เนื่องจากได้กล่าวมาแล้วว่าจุลินทรีย์หรือสิ่งมีชีวิตมีความสำคัญต่อระบบแอคทิ-  
เวตเต็ดสลัดจ์ซึ่งเป็นการกำจัดน้ำทิ้งทางชีววิทยา จึงควรทราบถึงวิธีการช่วยกำจัดความ  
สกปรกในน้ำทิ้งของจุลินทรีย์ ซึ่งมักเรียกว่าการลด BOD

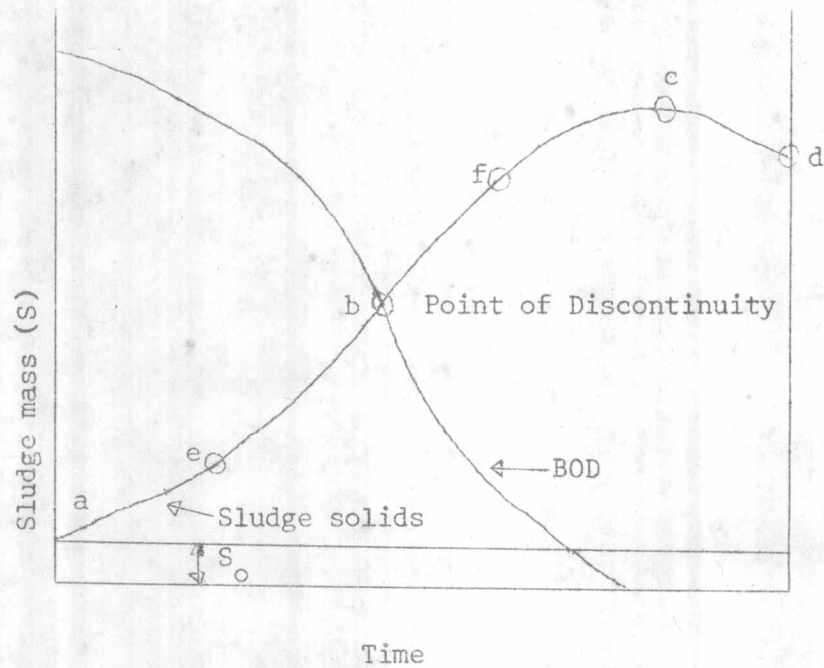
#### ๓.๑.๒.๔ การลด บีโอดี (BOD removal)

เมื่อน้ำทิ้งเข้าสู่ถังเติมอากาศ สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจะสัมผัสกับสลัดจ์ทำให้ค่า  
BOD ของน้ำทิ้งลดลงด้วยกลไกหลายอย่าง แต่ที่สำคัญพอแยกได้เป็น ๒ ระยะ คือ

- ระยะแรก สารแขวนลอยสารคอลลอยด์และสารที่ละลายในน้ำจะถูกดูดซับ  
(adsorption) และทำให้รวมตัวกัน ซึ่งระยะนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วใช้เวลาเพียง  
๑๐ ถึง ๓๐ นาที ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

- ระยะที่สอง สารอินทรีย์ซึ่งละลายอยู่ในน้ำจะถูกดูดซึม (absorption)  
เข้าสู่เซลล์ เพื่อเก็บไว้เป็นแหล่งสำรองอาหาร (reserved food) เมื่อมีออกซิเจน  
สารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกนำไปใช้สังเคราะห์เซลล์และให้พลังงาน นอกจากนี้ยังให้คาร์บอน  
ไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) น้ำ ( $H_2O$ ) และแอมโมเนีย ( $NH_3$ ) เป็นของเสียออก  
มา การลด BOD ในขั้นนี้ใช้ระยะเวลาที่จะให้ได้ผลสมบูรณ์ช้ากว่าระยะแรก ถ้าสาร  
อินทรีย์ในน้ำทิ้งเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ซับซ้อนมากการย่อยสลายจะเกิดช้า เนื่อง  
จากต้องใช้น้ำช่วยละลายให้เป็นโมเลกุลที่เล็กพอที่จะดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้

การย่อยสลายสารอินทรีย์ใน batch มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโต  
ของสลัดจ์ดังรูปที่ ๕



รูปที่ ๕ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของสลัดจ์กับการลดปริมาณสารอินทรีย์ (จาก Eckenfelder, 1961)

อธิบายการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโดยสัมพันธ์กับการลดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งใน batch ได้เป็น ๓ ระยะดังนี้

๑. Log Growth Phase คือเส้นแนว a-b ดังรูปที่ ๕ เป็นการเพิ่มจำนวนของสลัดจ์ตามเรขาคณิต จำนวนเซลล์จะเพิ่มขึ้นสูงสุดและเป็นการเพิ่มที่สม่ำเสมอเกิดในระยะที่อาหารสมบูรณ์

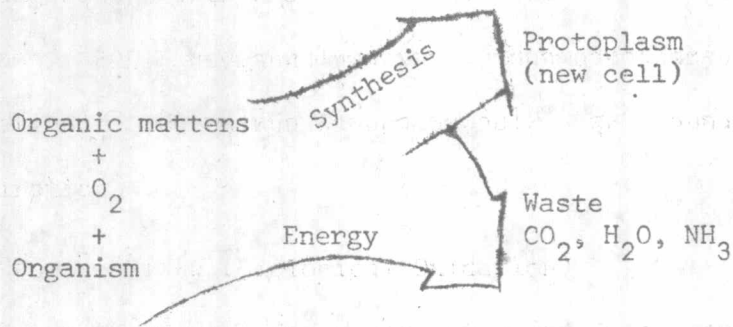
๒. Declining Growth Phase คือเส้น b-c ดังรูปที่ ๕ เป็นระยะที่ขาดแคลนอาหาร การเจริญเติบโตของสลัดจ์จะลดลง เส้น b-f คือระยะ first order reaction เป็นเส้นตรงที่เกือบจะโค้ง

๓. Endogenous Growth Phase คือเส้นโค้งกลับ c-d ดังรูปที่ ๕ เป็นระยะที่อาหารหรือค่า BOD น้อยมากทำให้สลัดจ์ต้องเผาผลาญอาหารที่สะสมไว้ในเซลล์ (auto-oxidation) เป็นเหตุให้มีกำลังอ่อนลงจนตายไปในที่สุด เรียกระยะนี้ว่า endogenous respiration

๓.๑.๒.๕ ไบโอะโลจิคอล ออกซิเดชัน (Biological Oxidation)

กรรมวิธีการกำจัดน้ำทิ้งทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนอิสระมีหลายกรรมวิธี ดังที่เคยกล่าวมาแล้วในตอนต้น ซึ่งได้แก่ระบบ Trickling Filter ระบบแอคทีเวตเต็ด สลัดจ์ ระบบ Aerated Lagoon และระบบ Oxidation pond ฯลฯ ถึงแม้ว่า การสร้างและการดำเนินงานของระบบกำจัดน้ำทิ้งที่กล่าวมานี้จะมีความแตกต่างกันแต่หลักการ ทางชีวเคมีเหมือนกันคือ เมื่อจุลินทรีย์สัมผัสกับน้ำทิ้งจะเกิดปรากฏการณ์ ๒ ชั้นด้วยกันคือ

๑. จุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนเพื่อเผาผลาญสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งได้พลังงานมาใช้ ในการดำรงชีวิต เช่น สืบพันธุ์ เจริญเติบโต เคลื่อนไหว ฯลฯ และสังเคราะห์เซลล์ ขึ้นมาใหม่ดังแสดงขบวนการ oxidation ดังรูปที่ ๖

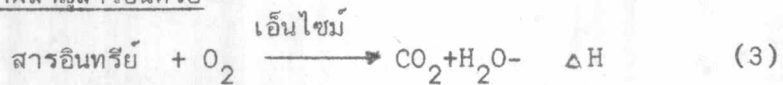


รูปที่ ๖ เมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ออกซิเจนอิสระ

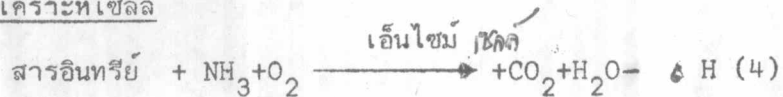
๒. จุลินทรีย์อาจเผาผลาญเซลล์ของมันเองโดยอัตโนมัติ (auto-oxidation cellular mass) มักเกิดในกรณีที่อาหารไม่เพียงพอ

ปฏิกิริยาการเผาผลาญสารอินทรีย์หรือการสังเคราะห์เซลล์และการเผาผลาญเซลล์ของมันเองแสดงดังสมการที่ (3), (4) และ (5) ตามลำดับ

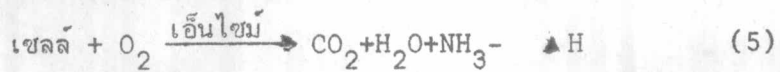
การเผาผลาญสารอินทรีย์



การสังเคราะห์เซลล์



การเผาผลาญเซลล์ของจุลินทรีย์



๓.๑.๒.๖ จลนศาสตร์ของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Kinetics of Biological Growth)

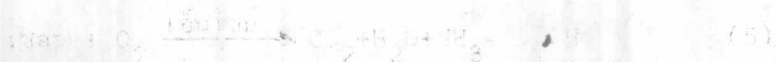
สภาวะแวดล้อมมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อย่างมาก สิ่งแวดล้อมที่สำคัญคือ pH อุณหภูมิ อาหารเสริม ธาตุที่จำเป็น ปริมาณออกซิเจน และการผสมผสานระหว่างสัจกับอาหาร สิ่งที่ทำให้ทราบว่าจุลินทรีย์กำลังอยู่ในสภาวะแวดล้อมเหมาะสมพอที่จะเจริญเติบโตและมีชีวิตอยู่ได้นานเท่าใด คือ อัตราการเกิด (growth rate) ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเมตาบอลิซึม

สูตรแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กับการให้สารอินทรีย์จากน้ำทิ้งของระบบกำจัดน้ำทิ้งทางชีววิทยามีดังนี้ :  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} - \Delta H \quad (3)$

การสังเคราะห์เซลล์



การเผาผลาญเซลล์ของจุลินทรีย์





อัตราการเติบโตสุทธิ = อัตราการสร้างเซลล์-อัตราการตายของเซลล์

หรือ

$$\frac{dx}{dt} = Y \frac{df}{dt} - k_d X \quad (6)$$

เมื่อ  $\frac{dx}{dt}$  = อัตราการเพิ่มสุทธิของจุลินทรีย์, น้ำหนัก/ปริมาตร-เวลา

$Y$  = สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์  
= อัตราส่วนน้ำหนักของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อน้ำหนัก  
ของอาหารที่ใช้ไป

$\frac{df}{dt}$  = อัตราการย่อยสลายอินทรีย์ในน้ำทิ้ง, น้ำหนัก/ปริมาตร-  
เวลา

$k_d$  = สัมประสิทธิ์การตายของจุลินทรีย์, เวลา<sup>-๑</sup>

$X$  = ความเข้มข้นของจุลินทรีย์, น้ำหนัก/ปริมาตร

อัตราการย่อยสลายอินทรีย์ในน้ำทิ้งจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง  
Eckenfelder & O'Connor (๑๙๖๑) กล่าวว่า Monod ได้อธิบายถึงความสัมพันธ์ของอัตราการเพิ่ม  
ของจุลินทรีย์และความเข้มข้นของสารอาหารหรือสารอินทรีย์ที่มีอยู่อย่างจำกัดดังรูปที่ ๗ และ  
สมการดังต่อไปนี้

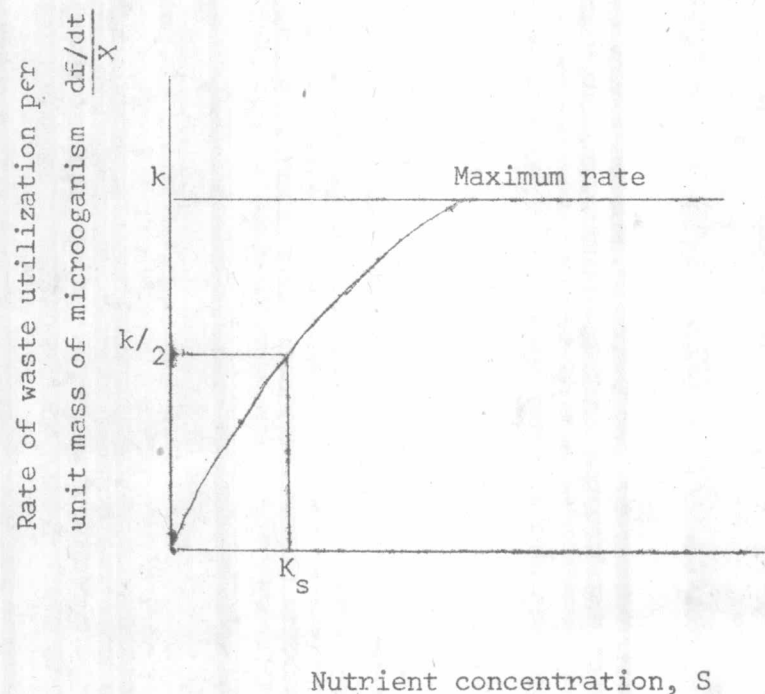
$$\frac{df}{dt} = \frac{kXS}{K_s + S} = \frac{ds}{dt} \quad (7)$$

เมื่อ  $k$  = อัตราสูงสุดในการย่อยสลายอินทรีย์ต่อน้ำหนักของจุลินทรีย์, เวลา<sup>-๑</sup>

$K_s$  = ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งเมื่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์

เท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการย่อยสลายสูงสุด ( $k$ ), น้ำหนัก/ปริมาตร

= ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง, น้ำหนัก/ปริมาตร



รูปที่ ๗ Rate of waste utilization per unit mass of microorganism versus concentration of a limiting nutrient (จาก Metcalf & Eddy, 1972)

แทนค่า  $\frac{df}{dt}$  จากสมการ (7) ในสมการ (6) จะได้

$$\frac{dx}{dt} = Y \frac{kXS}{K_s + S} - k_d X \tag{8}$$

สมการ (8) ทหารด้วย  $X$  จะได้

$$\frac{dx/dt}{X} = Y \frac{kS}{K_s + S} - k_d \tag{9}$$

แทนค่า  $\frac{dx/dt}{X}$  ด้วย  $\mu$  จะได้

$$\mu = Y \frac{kS}{K_s + S} - k_d \quad (10)$$

แทนค่า  $Y k$  ด้วย  $\mu_{max}$

$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{K_s + S} - k_d \quad (11)$$

จากสมการ (9) ด้วย  $\frac{dX/dt}{X}$  ด้วย  $U$  จะได้

$$U = Y \frac{kS}{K_s + S} - k_d \quad (12)$$

$U$  = อัตราส่วนของสารอินทรีย์ต่อจำนวนจุลินทรีย์

หรืออัตราการใช้อาหาร

ในสมการ (6) หาค่า  $X$  ตลอดจะได้

$$\frac{dx/dt}{X} = \frac{Y df/dt}{X} - k_d \quad (13)$$

ถ้ากำหนดน้ำหนักของจุลินทรีย์และเวลาให้แน่นอน  $m$  หมายถึงกำหนดน้ำหนักของจุลินทรีย์ สมการ (13) จะเป็นดังนี้

$$\frac{1}{X_m / (\Delta x / \Delta t)_m} = Y \frac{(\Delta f / \Delta t)_m}{X_m} - k_d \quad (14)$$

$(\Delta f / \Delta t)_m / X_m$  เป็น loading factor ของระบบ เป็นการใช้อาหารจำเพาะเป็นอัตราการใช้อาหาร หรือเป็นอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์

$$U = \frac{(\Delta f / \Delta t)_m}{X_m} \quad (15)$$

ถ้ากำหนดเวลาที่แน่นอน อัตราการเพิ่มสุทธิของจุลินทรีย์ในแต่ละเวลาจะเท่ากับ  $(\Delta X/\Delta t)_m / X_m$  ซึ่งส่วนกลับของอัตราการเพิ่มสุทธิของจุลินทรีย์หรืออัตราที่จุลินทรีย์ถูกกำจัดออกไปจากระบบกำจัด คือ ค่าระยะเวลาที่ตะกอนจุลินทรีย์ถูกเก็บกักอยู่ในระบบกำจัด (Solid Retention Time หรือ SRT หรือ Mean Cell Residence Time หรือ  $\theta_c$ )

$$\theta_c = \frac{X_m}{(\Delta X/\Delta t)_m} \quad (16)$$

เมื่อ  $X_m$  = น้ำหนักจุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบ, น้ำหนัก

$(\Delta X/\Delta t)_m$  = น้ำหนักของจุลินทรีย์ที่ถูกกำจัดออกจากระบบในแต่ละวัน

แทนค่า  $\theta_c$  และ  $U$  ในสมการ (๑๔) จะได้

$$\frac{1}{\theta_c} = Y U - k_d \quad (17)$$

เมื่อ  $1/\theta_c$  = อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

$U$  = อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์

### ๓.๑.๒.๗ Nitrification and Denitrification

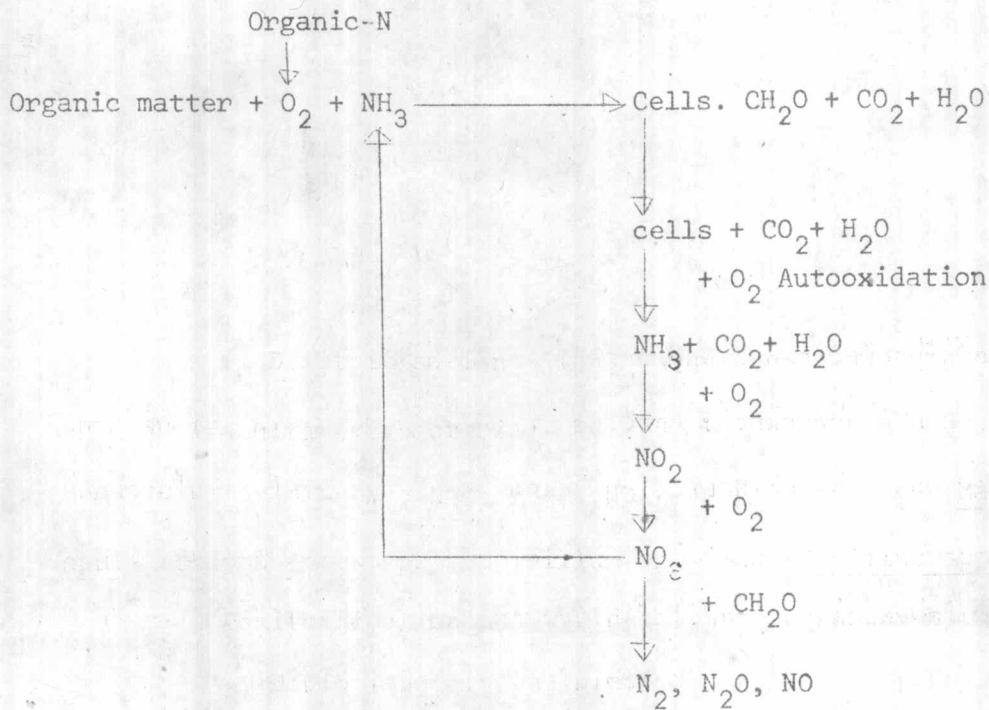
ก. Nitrification คือปรากฏการณ์ที่เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนจะทำให้แอมโมเนียถูกเผาผลาญเป็นไนโตรทโดยแบคทีเรียพวก Nitrosomonas spp. และไนโตรทจะถูกเผาผลาญต่อไปเป็นไนเตรตโดยแบคทีเรียพวก Nitrobacter spp. ดังรูปที่ ๘

ระยะเวลาเก็บกักตะกอนไว้ในระบบกำจัด (retention period หรือ sludge age) มีความสำคัญต่อการเกิดจุลินทรีย์พวกที่สามารถย่อยสลายไนโตรเจน ถ้าระยะเวลาในการเก็บกักตะกอนสั้นกว่าระยะเวลาในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายไนโตรเจนจะไม่ทำให้เกิด nitrification Eckenfelder(๑๙๖๖) กล่าวว่า Downing ได้ทำการทดลองพบว่า จะเกิด nitrification โดยสมบูรณ์ ถ้าให้ระยะเวลาในการเก็บกักตะกอนนาน ๕ วัน ที่อุณหภูมิ ๒๗°C

ข. Denitrification เกิดจากแบคทีเรียพวกหนึ่งซึ่งอยู่ได้ทั้งที่มีและไม่มีออกซิเจน (facultative bacteria) อยู่ในสภาวะแวดล้อมรอบ ๆ ดัวมัน และสามารถย่อยสลายไนเตรดให้เป็น  $N_2$ ,  $N_2O$  และ  $NO$  แบคทีเรียเหล่านี้ได้แก่ Micrococcus spp., Achromobacter spp., Spirillum spp. และ Bacillus spp.

Denitrification สามารถเกิดได้ในสภาวะแวดล้อมดังต่อไปนี้คือ

๑. มีไนโตรเจนอยู่ในรูปของไนเตรด
๒. มีคาร์บอนเป็นแหล่งสำหรับให้พลังงาน
๓. ในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนอิสระหรือถ้ามีก็น้อยมาก



รูปที่ ๘ แสดงวัฏจักรของไนโตรเจนในระบบการย่อยสลายทางชีววิทยา

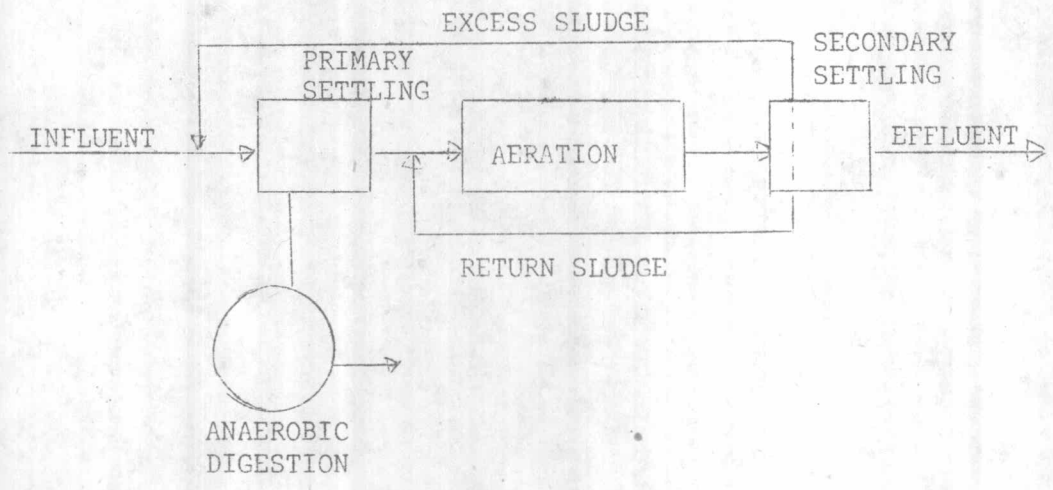
(จาก Eckenfelder, 1966)

### ๓.๑.๓ ระบบแอกทีเวตเตดสลัดจ์แบบต่าง ๆ

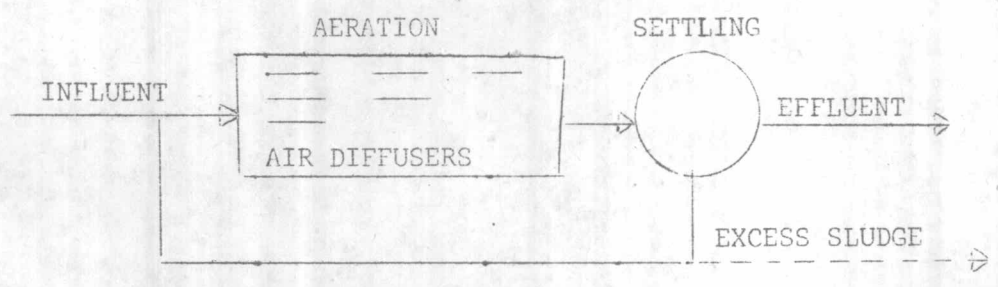
ระบบแอกทีเวตเตดสลัดจ์มีหลายแบบ ทุก ๆ แบบมีหลักการเหมือนกัน เพียงแต่รายละเอียดของแต่ละแบบมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ การควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบและชนิดของน้ำทิ้งที่ต้องการกำจัด ระบบแอกทีเวตเตดสลัดจ์แบ่งได้เป็นดังนี้ คือ

ก. Conventional Activated Sludge เป็นระบบกำจัดแบบธรรมดา ดังรูปที่ ๔ เหมาะที่จะใช้กำจัดน้ำทิ้งที่ค่อนข้างเจือจาง เช่น น้ำทิ้งจากบ้านเรือนมักใช้ organic loading ระหว่าง ๐.๒ ถึง ๐.๕ ปอนด์ BOD ต่อวันต่อปอนด์ VSS ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการตกตะกอนโดยไม่เกิดปัญหาการลอยตัวของสลัดจ์ (non-bulking sludge)

ลักษณะการไหลของน้ำทิ้งในถังเติมอากาศเป็นแบบไหลตามยาว (longitudinal flow หรือ plug flow) โดยไหลเข้าทางตอนหัวของถังเติมอากาศ ทำให้มีความเข้มข้นของ BOD ตอนหัวของถังเติมอากาศมีค่าสูงสุดและจะลดลงเรื่อย ๆ ตามความยาวของถัง เป็นเหตุให้ความต้องการออกซิเจนของน้ำทิ้งมีค่าสูงสุดตอนหัวของถังเติมอากาศและลดลงเรื่อย ๆ ตามความยาวของถังเช่นกัน ดังนั้นจึงมีการออกแบบให้การเติมอากาศให้พอเพียงตามความต้องการของจุลินทรีย์โดย Tapered Aeration ดังรูปที่ ๑๐



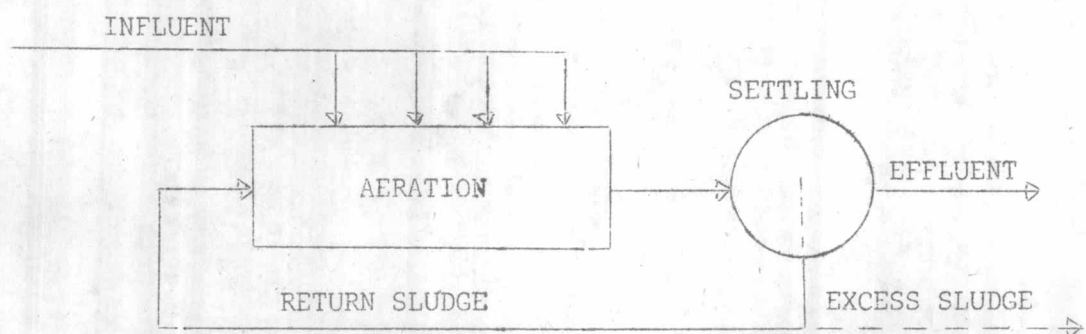
รูปที่ ๘ แสดงแผนผังระบบ CONVENTIONAL ACTIVATED SLUDGE  
(จาก Steward, 1971)



รูปที่ ๑๐ แสดงแผนผัง TAPERED AERATION  
(จาก Steward, 1971)

ข. Step Aeration เป็นแบบที่กระจาย Organic Loadingตามความยาวของถังเติมอากาศดังรูปที่ ๑๑ เพื่อกระจายความต้องการออกซิเจนให้เท่ากันตลอด น้ำทิ้งจะถูกระบายเข้าสู่ถังเติมอากาศหลายจุด บางครั้งจึงเรียก Step Loading อีกชื่อหนึ่งด้วยค่า  $F/M$  ในถังเติมอากาศจะมีค่าสม่ำเสมอทั้งหมด ความเข้มข้นของ Mixed Liquor Solids จะมีค่าสูงตอนต้นของถังเติมอากาศและจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ ตามความยาวของถัง

ระบบ Step Aeration บางครั้งอาจจะใช้ถังเติมอากาศหลาย ๆ ถังเรียงกันแบบอนุกรม โดยถังแรกทำหน้าที่เป็นที่เติมอากาศอีกครั้ง (reaerate) เพื่อให้แอกทีเวตเทสสลัดจ์กลับมีชีวิตชีวาขึ้น ส่วนน้ำทิ้งจะเข้าในถังถัด ๆ ไป ระบบกำจัดแบบนี้เหมาะสำหรับกำจัดน้ำทิ้งจากบ้านเรือนและน้ำทิ้งที่มีคุณสมบัติคล้าย ๆ กันนั้น



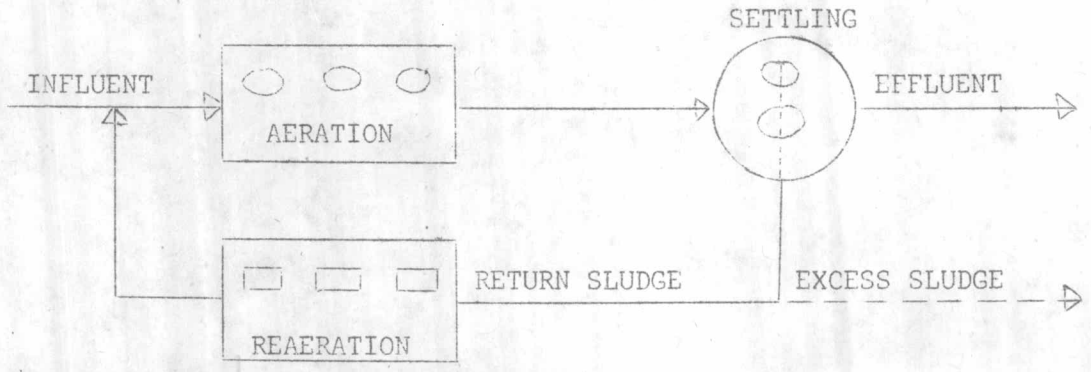
รูปที่ ๑๑ แสดงแผนผัง Step Aeration (Step Loading)

(จาก Steward, 1971)



ค. Contact Stabilization หรือ Bioadsorption แผนผังของแบบ Contact Stabilization แสดงดังรูปที่ ๑๒ ใช้ loading factor เหมือนกับแบบ Conventional Activated Sludge แต่ใช้ volumetric loading เป็น ๒ เท่า หลักการของการกำจัดแบบนี้ คือ ในระยะแรก สารแขวนลอย สารคอลลอยด์ และของแข็งซึ่งละลายน้ำ (soluble solid) จะถูกดูดซับ (adsorption) รวมตัวกับจุลินทรีย์ทำให้ค่า BOD ลดลงได้รวดเร็วในเวลาเพียง ๑๐-๓๐ นาที และในระยะที่สอง เป็นระยะที่สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (soluble organic) จะถูกดูดซึม (absorption) เข้าสู่เซลล์เพื่อเก็บไว้เป็นแหล่งอาหารและเมื่อจุลินทรีย์ได้รับออกซิเจนก็จะเกิดการเผาผลาญสารอินทรีย์ดังกล่าว ซึ่งระยะนี้กินเวลานานกว่าระยะแรกค่า BOD จึงจะลดลง ในระบบ Contact Stabilization จึงออกแบบถังเติมอากาศเป็นสองถัง โดยถังแรกสำหรับลด BOD ในระยะแรกซึ่งเรียก contact tank ใช้เวลาในการเติมอากาศนาน ๓๐-๔๐ นาที ส่วนถังที่สองสำหรับการลด BOD ในระยะที่สอง เรียก reaeration tank ใช้เวลาในการเติมอากาศ ๓-๖ ชั่วโมง

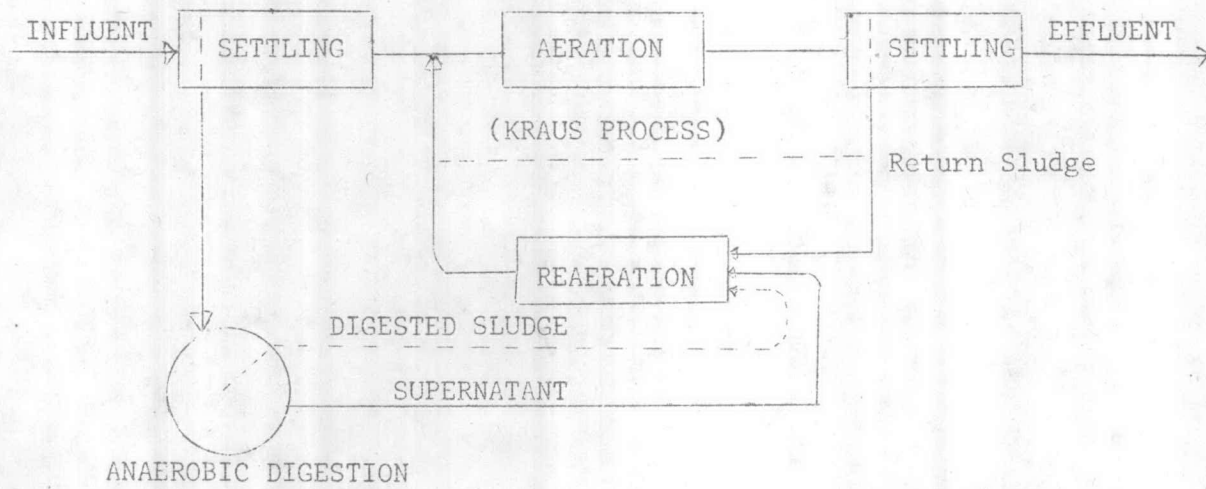
น้ำทิ้งที่เหมาะสมต่อการกำจัดแบบนี้คือ น้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารแขวนลอยและคอลลอยด์ ข้อดีของวิธีนี้ก็คือค่าก่อสร้างถูกกว่าแบบอื่น ๆ ของระบบแอกทีเวตเต็ดสลัดจ์ (เนื่องจากปริมาตรของถังเติมอากาศน้อยกว่า) และสามารถกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีสารพิษได้ง่ายกว่าแบบ Conventional Activated Sludge ส่วนข้อเสียก็คือบางครั้งสลัดจ์ที่เกิดจากระบบนี้อาจจะไม่รวมตัวกันแน่นเท่าที่ควรจึงอาจต้องผ่านระบบที่ช่วยทำให้สลัดจ์รวมตัวกันแน่นขึ้น หลังจากออกจากถังตกตะกอนที่สุดท้ายแล้วอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ ๑๒ แสดงแผนผัง Contact Stabilization  
(จาก Steward, 1971)

ง. Hatfield-Kraus system มีหลักการคล้ายกับแบบ Contact Stabilization ดังรูปที่ ๑๓ แต่แตกต่างกันที่แบบ Hatfield-Kraus System นี้ มีการนำของเหลวส่วนที่ใส (supernatant) หรือตะกอนที่ย่อยแล้วจาก Anaerobic Digester เข้าสู่ถังเติมอากาศถังที่ ๒ (reaeration tank)

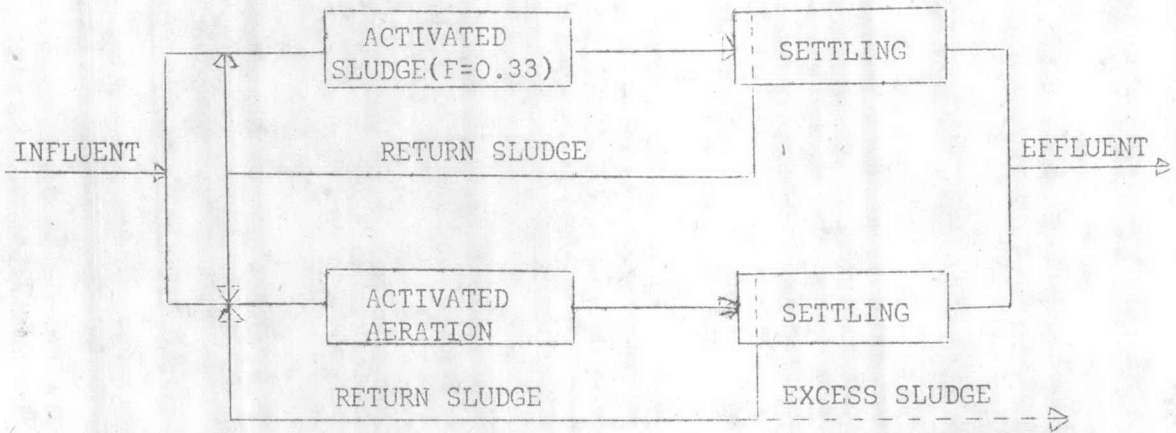
ในกรณีที่น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารประกอบจำพวกคาร์บอน (carbonaceous materials) อยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อนำน้ำทิ้งจาก Anaerobic Digester เข้าสู่ถังเติมอากาศถังที่ ๒ (reaeration tank) เป็นการป้องกันไม่ให้อctive sludge solids มีกรดอะมิโน (Amino Acid) และสารไนโตรเจนอื่น ๆ ปะปนอยู่ วิธีนี้จึงเหมาะที่จะใช้กำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตผักและผลไม้กระป๋อง นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่ไม่ก่อให้เกิดการลอยตัวของสลัดจ์ (sludge bulking) จึงแม้จะเกิด shock load ขึ้น



รูปที่ ๑๓ แสดงแผนผัง HATFIELD PROCESS  
(จาก Steward, 1971)

จ. Activated Aeration เป็นระบบซึ่งรวมหลักการของระบบ Conventional Activated Sludge กับ Short Term Aeration เข้าด้วยกัน ดังรูปที่ ๑๔ ส่วนบนและส่วนล่างของระบบเป็นแบบ conventional แต่ส่วนล่างรับสลัดจ์ที่มากเกินไปจากส่วนบน

การวางโครงสร้างของระบบ Activated Aeration ทำให้สามารถควบคุมระบบได้สะดวก และประหยัดในกรณีที่ต้องการปรับให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงขึ้นหรือลดลงตามความต้องการหรือความเหมาะสมต่อแหล่งรับน้ำ

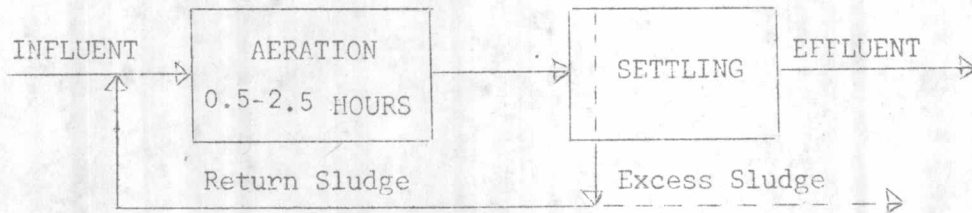


รูปที่ ๑๔ แสดงแผนผัง ACTIVATED AERATION

(จาก Steward, 1971)

จ. Short Term Aeration แผนผังของระบบแสดงดังรูปที่ ๑๕ ใช้ loading factor สูงมากมีค่าอยู่ระหว่าง ๐.๕ ถึง ๕ ปอนด์ BOD ต่อวันต่อปอนด์ VSS (น.น.ของ VSS ทั้งในถังเติมอากาศและถังตกตะกอน) volumetric loading อยู่ระหว่าง ๑๐๐ ปอนด์ ต่อวันต่อ ๑๐๐๐ ลูกบาศก์ฟุตของความจุของถังเติมอากาศและอาจสูงถึง ๔๐๐ ปอนด์ BOD ต่อวันต่อ ๑๐๐๐ ลูกบาศก์ฟุตของความจุของถังเติมอากาศ

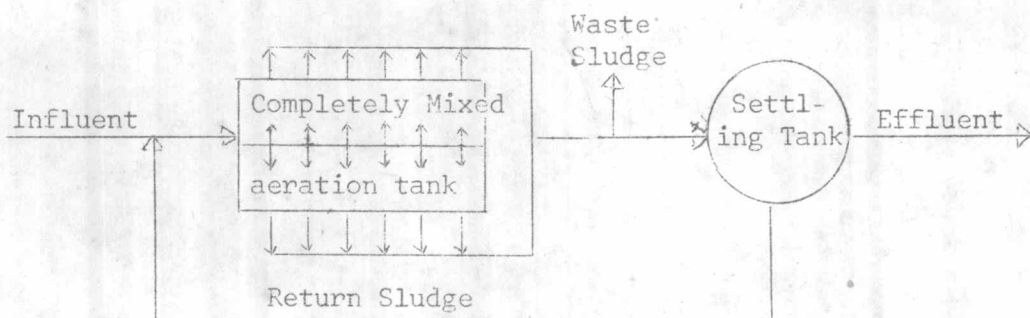
วิธีนี้นับว่าประหยัดค่าก่อสร้างเนื่องจากขนาดของถังเติมอากาศเล็กมาก และนอกจากนี้ยังเป็นการลดปริมาณความต้องการอากาศลงอีกด้วย แต่ก็มีข้อเสียคือปริมาณของสลัดจ์น้อยเนื่องจากถังเติมอากาศมีขนาดเล็ก เป็นเหตุให้คุณภาพของน้ำทิ้งจากถังตกตะกอนไม่ดีเท่าที่ควร จึงมักนิยมใช้วิธีนี้ต่อเมื่อไม่ต้องการประสิทธิภาพในการกำจัดสูงมากนัก Short Term Aeration นี้ใช้ฟอสฟอรัสมากซึ่งจะเกิดที่ loading factor สูง ๆ จึงเหมาะที่จะใช้สำหรับน้ำทิ้งที่ต้องการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยเพื่อประกันไม่ให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายในแหล่งรับน้ำ



รูปที่ ๑๕ แสดงแผนผัง SHORT TERM AERATION

(จาก Steward, 1971)

ช. Completely Mixed Activated Sludge คือการออกแบบให้น้ำทิ้งและแอกทีเวตเทสสลัดจ์ไหลเข้าสู่ถังเติมอากาศอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ Mixed Liquor ในถังเติมอากาศรวมเป็นเนื้อเดียวกันหมดเป็นเหตุให้ความต้องการออกซิเจนเท่ากันทุกจุดตลอดถังตั้งรูปที่ ๑๖ มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำทิ้งที่มีค่า BOD สูงประมาณ ๕,๐๐๐-๑๐,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตรได้

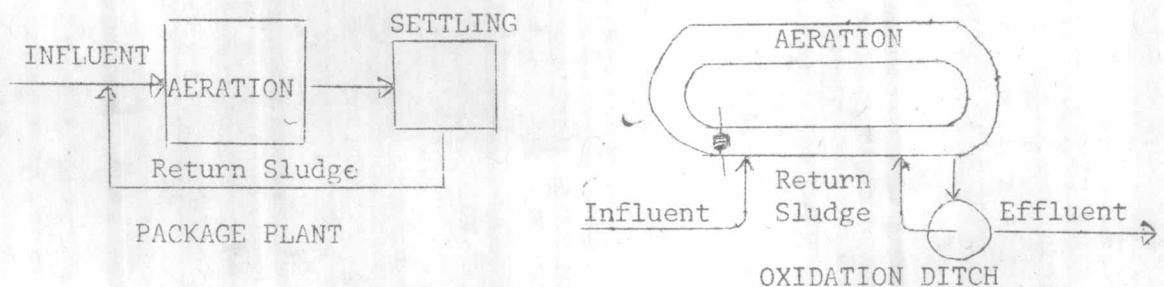


รูปที่ ๑๖ แสดงแผนผัง (COMPLETE MIXED ACTIVATED SLUDGE)

(จาก Steward, 1971)

ข. Extended Aeration ลักษณะโครงสร้างของระบบนี้มี ๒ แบบดังรูปที่ ๑๗ คือเป็น Package Plant และ Oxidation Ditch ใช้ loading factor ต่ำ คือ ๐.๐๕ ถึง ๐.๒ ปอนด์ BOD ต่อวันต่อปอนด์ VSS ค่า volumetric loading สำหรับน้ำทิ้งจากบ้านเรือนมักใช้ประมาณ ๑๐ ถึง ๒๐ ปอนด์ BOD ต่อวันต่อ ๑๐๐๐ ลบฟ. ของ ความจุของถังเติมอากาศ ใช้ระยะเวลาในการเติมอากาศนานเพื่อให้ประสิทธิภาพในการกำจัด สูงและต้องการให้ปริมาณตะกอนสลัดจ์ที่มากเกินไปมีปริมาณน้อยที่สุด ข้อดีสำหรับวิธีนี้คือ ลด ค่าก่อสร้างระบบกำจัดตะกอนสลัดจ์ที่มากเกินไปและสามารถกำจัดน้ำทิ้งที่มีสารพิษได้ เหมาะ สำหรับน้ำทิ้งในปริมาณไม่เกิน ๑ ล้านแกลลอนต่อวัน เพราะถ้ามากกว่านี้แล้วจะเป็นการสิ้น เปลืองมากเนื่องจากค่าก่อสร้างสำหรับถังเติมอากาศจะสูงมาก เนื่องจากต้องใช้ถังเติม อากาศขนาดใหญ่

สำหรับแบบ Oxidation Ditch นั้น ถังปฏิกรณ์ (reactor) เป็นรูปวงรี ลึกประมาณ ๑.๕๐ เมตร เพื่อให้ง่ายต่อการก่อสร้าง จึงใช้พื้นที่มากกว่าระบบ Activated Sludge แบบอื่น ๆ เหมาะสำหรับกำจัดน้ำทิ้งที่มีปริมาณน้ำทิ้งไม่มากเกินไปและราคาที่ดิน ถูก นอกจากนี้ Oxidation Ditch นี้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ

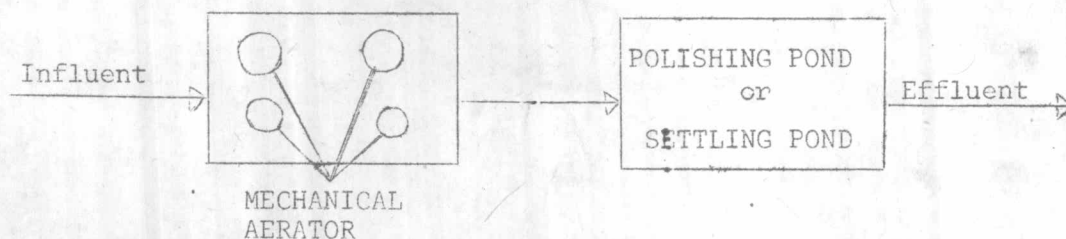


รูปที่ ๑๗ แสดงแผนผัง EXTENDED AERATION

(จาก Steward, 1971)

๓. Aerated Lagoon แผนผังดังรูปที่ ๑๘ เป็นแบบกำจัดน้ำทิ้งที่รวมหลักการของระบบแอกทีเวตเต็ดสลัดจ์และบ่อเซียว (Oxidation Pond) เข้าด้วยกัน จึงต้องใช้พื้นที่ในการสร้างโรงงานกำจัดมากกว่าระบบแอกทีเวตเต็ดสลัดจ์ ปกติมีระยะเวลาในการเก็บกักน้ำทิ้งใน Aerated Lagoon ๓ ถึง ๑๕ วัน จึงผ่านเข้าสู่บ่อตกตะกอน (settling pond) เพื่อกำจัดตะกอนสลัดจ์ ความสูงของ Aerated Lagoon ปกติอยู่ระหว่าง ๑๐ ถึง ๑๕ ฟุต เหมาะสำหรับกำจัดน้ำทิ้งที่อาจมีสารพิษปะปนอยู่ เช่น โรงงานกระดาษ อัตราส่วนระหว่าง BOD:N:P มีค่าต่ำ

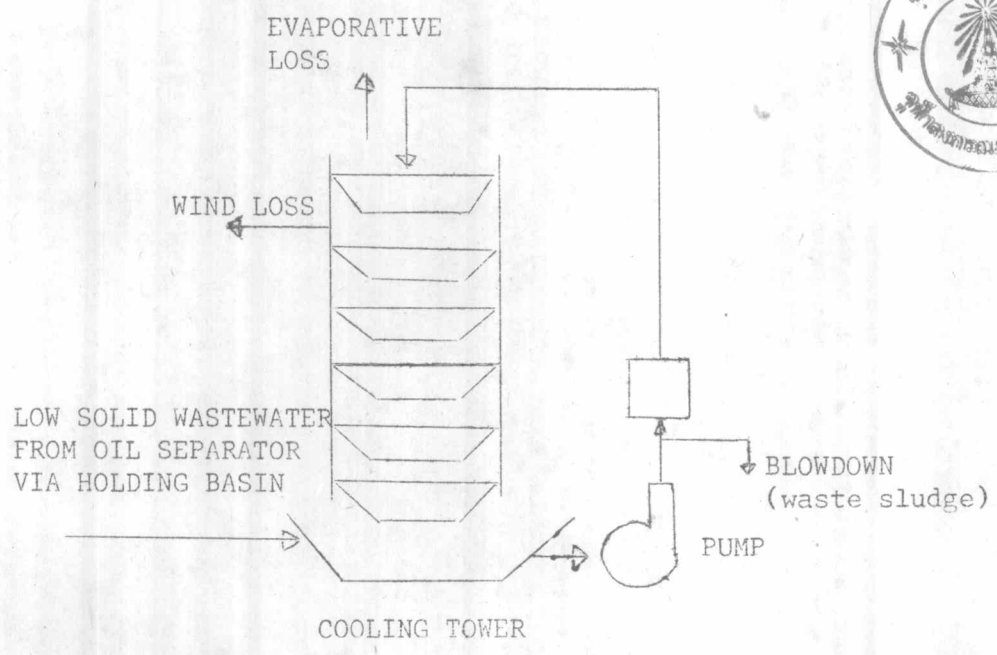
ข้อดีสำหรับวิธีนี้ คือ ถ้าออกแบบได้ถูกต้องสามารถกำจัด BOD ได้ประมาณ ๘๐% ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ชำนาญควบคุมทำงานของระบบตลอดเวลา และไม่ก่อปัญหาจากการเจริญเติบโตของสาหร่ายเหมือนในบ่อเซียว (Oxidation Pond) ส่วนข้อเสียสำหรับวิธีนี้ คือ ต้องใช้พื้นที่ในการสร้างโรงงานกำจัดมากจึงไม่เหมาะที่จะสร้างในที่ที่มีที่ดินแพงเกินไป



รูปที่ ๑๘ แสดงแผนผัง AERATED LAGOON

(จาก Steward, 1971)

๒. Water Cooling Tower ดังแสดงในรูปที่ ๑๔ นั้น เป็นระบบที่แปลกได้  
 คัดแปลงเพื่อใช้ในการกำจัดน้ำทิ้งจาก refinery หรือ petrochemical เป็นกลไก  
 ของระบบแอกทีเวตเทตสลัดจ์ซึ่งออกซิเจนจากอากาศถ่ายเทเข้าสู่ Mixed Liquor โดย  
 Cooling Tower แอกทีเวตเทตสลัดจ์ส่วนที่มากเกินไปเกินความต้องการจะถูกปล่อยออกอย่างสม่ำเสมอ  
 พร้อมกับน้ำทิ้งหลังการกำจัด จุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตบางส่วนจะยังคงอยู่ใน slat ซึ่ง  
 ทำด้วยไม้ภายใน Cooling Tower



รูปที่ ๑๔ แสดงระบบกำจัดแอกทีเวตเทตสลัดจ์แบบ WATER COOLING TOWER  
 (จาก Steward, 1971)



๓.๑.๔ Mathematical Formulations for Design

สำหรับออกแบบระบบแอคทีเวตเสดสลัดจ์มีอยู่หลายแบบแต่ที่นิยมใช้กันมาก คือ

Mathematical Model ของ Eckenfelder (1970)

Eckenfelder mathematical model

$$S_e = \frac{S_0}{k X_v t + 1} \quad (18)$$

$$\Delta X_v = \frac{aS_r}{t} - bX_v \quad (19)$$

$$\Delta X_v = \frac{aS_r}{t} - k_b x X_v \quad (20)$$

$$\Delta X_v = \frac{aS_r}{t} + f X_o - bX_v \quad (21)$$

$$x = \frac{aS_r + k_b X_v - \sqrt{(aS_r + k_b X_v + f X_o)^2 - (4k_b X_v)(0.77 aS_r)}}{2 k_b X_v} \quad (22)$$

$$x = \frac{aS_r + k_b X_v + f X_o - \sqrt{(aS_r + k_b X_v + f X_o)^2 - (4k_b X_v)(0.77 aS_r)}}{2 k_b X_v} \quad (23)$$

$$BOD_{5_e} = S_e + f X_{v_e} \quad (24)$$

$$R_r = \frac{a'S_r + b'' k_b x X_v}{t} \quad (25)$$

$$R_r = \frac{a'S_r + b' X_v}{t} \quad (26)$$

$$\frac{F}{M} = \frac{24 S_0}{X_v t} \quad (27)$$

เมื่อ $t$	=	ระยะเวลาที่ได้รับอากาศ, วันหรือชั่วโมง
$S_o$	=	BOD <sub>5</sub> ของน้ำทิ้ง, มิลลิกรัมต่อลิตร
$S_e$	=	BOD <sub>5</sub> ที่เป็นสารละลายของน้ำทิ้งหลังการกำจัด, มิลลิกรัมต่อลิตร
$S_r$	=	BOD ที่ถูกกำจัด, มิลลิกรัมต่อลิตร
$X_o$	=	ตะกอนแขวนลอยที่ไม่ย่อยสลายของน้ำทิ้ง, มิลลิกรัม ต่อลิตร
$X_v$	=	ตะกอนแขวนลอยที่มีชีวิต, มิลลิกรัมต่อลิตร
$X_{ve}$	=	ตะกอนแขวนลอยที่มีชีวิตของน้ำทิ้งหลังกำจัด, มก./ลิตร
BOD <sub>5e</sub>	=	BOD <sub>5</sub> ของน้ำทิ้งหลังการกำจัดทั้งหมด, มก./ลิตร
$R_r$	=	อัตราการใช้ออกซิเจน, มก.ต่อลิตรต่อวันหรือ มก. ต่อลิตรต่อ ชม.
F/M	=	อัตราส่วนระหว่างอาหารและจุลินทรีย์, ปอนด์ต่อปอนด์ ต่อวัน
$k$	=	อัตราการกำจัด BOD
$k_b$	=	$\frac{b}{x}$ = อัตราการย่อยสลายตัวเอง
$a$	=	อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (mass yield rate) ปอนด์ต่อปอนด์ BOD ที่ถูกกำจัด
$x$	=	อัตราส่วนย่อยสลาย (degradable fraction), %
$a'$	=	$1-a$ = อัตราความต้องการออกซิเจนในการสร้าง เซลล์, ปอนด์/ปอนด์
$b'$	=	$b''b = b''k_b x$ = อัตราความต้องการออกซิเจน ในการย่อยสลายตัวเอง, ปอนด์/ปอนด์

- $b''$  = ออกซิเจนซึ่งมีค่าเท่ากับการย่อยสลายของตะกอนแขวนลอยที่มีชีวิต, ปอนด์ต่อปอนด์
- $a''$  = ออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง, ปอนด์/ปอนด์
- $\Delta x_v$  = อัตราการสะสมตะกอน, ม.ก./ลิตรต่อวัน

### ๓.๑.๕ การควบคุมการทำงานของระบบแอกทีเวตเต็ดสลัดจ์

วิธีการที่ใช้ในการควบคุมระบบแอกทีเวตเต็ดสลัดจ์มีอยู่หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้กันเสมอ ๆ มี ๓ วิธี

๑. การควบคุมให้ MLSS หรือ MLVSS ในระบบคงที่
๒. การควบคุมให้อัตราส่วน F/M มีค่าคงที่
๓. การควบคุมให้ระยะเวลาในการเก็บกักตะกอนไว้ในระบบ (Mean Cell Rescident Time = MCRT) คงที่

๑) การควบคุมให้ MLSS หรือ MLVSS ในระบบคงที่

วิธีนี้ผู้ควบคุมการดำเนินงานของโรงงานกำจัดจะต้องรักษาน้ำหนักของจุลินทรีย์ในระบบให้คงที่ วิธีนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางเนื่องจากเป็นวิธีที่ค่อนข้างง่ายและใช้งานในห้องปฏิบัติการน้อยเพียงแต่หาค่า MLSS หรือ MLVSS ในระบบเพื่อจะกำจัดสลัดจ์ที่มากเกินไปกำหนดออกจากระบบในแต่ละวัน แต่การใช้วิธีนี้จะได้ผลดีต่อเมื่อน้ำทิ้งที่ต้องการกำจัดมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์เมื่อเข้าสู่ระบบค่อนข้างคงที่

๒) การควบคุมให้อัตราส่วน F:M คงที่ เป็นการกำจัดสลัดจ์ออกจากระบบเพื่อรักษาอัตราส่วน F:M ให้คงที่ วิธีนี้ได้มาจากสมการ (๑๗) ข้อดีของวิธีนี้ คือ ถึงแม้ว่าน้ำทิ้งที่จะกำจัดจะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ไม่คงที่ในแต่ละวันหรือตลอดเวลา แต่น้ำทิ้งหลังการกำจัดยังมีคุณภาพคงที่ ข้อเสียของวิธีนี้คือต้องเสียเวลาทำงานในห้องปฏิบัติการมาก เนื่องจากจะต้องหาปริมาณอาหารที่ถูกกำจัดและปริมาณจุลินทรีย์ในระบบโดยหาค่า BOD

ทั้งหมดในน้ำทิ้งก่อนกำจัด ค่า BOD ของน้ำทิ้งหลังการกำจัดในส่วนที่ไม่มีตะกอน และ ตะกอนมีชีวิตร (VSS) ในถังเติมอากาศ แต่เพื่อความสะดวกและรวดเร็วมักหาค่า COD แทน BOD

๓) การควบคุมให้ MCRT คงที่ จากสมการ (17) จะเห็นความสัมพันธ์ โดยตรงของ MCRT และอัตราส่วน F:M ดังนั้นเมื่อควบคุมให้ MCRT คงที่แล้ว อัตราส่วน F:M จะคงที่ด้วย วิธีนี้จึงนับว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดเพราะเสียเวลาทำงานในห้อง ปฏิบัติการน้อยมากเพียงแต่หาตะกอนสลัดจ์ในถังเติมอากาศและในท่อ ที่จะนำตะกอนสลัดจ์ไป กำจัด ตัวอย่างเช่น เมื่อผู้ควบคุมการทำงานของระบบหาค่าคงที่ของ MCRT ที่เหมาะสม สำหรับกำจัดน้ำทิ้งชนิดหนึ่งได้ว่าควรจะเป็น ๑๐ วัน ดังนั้นจะต้องทิ้งสลัดจ์จากระบบวันละ ๑๐% เพื่อรักษาค่า MCRT ๑๐ วัน

### ๓.๑.๖ ปัญหาการลอยตัวของสลัดจ์ในระบบแอกทีเวตเตดสลัดจ์

การกำจัดน้ำทิ้งด้วยระบบแอกทีเวตเตดสลัดจ์มักมีปัญหาลำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพ การกำจัดของระบบเลวลงอันเนื่องมาจากการลอยตัวของสลัดจ์ (bulking of sludge) เป็น เหตุให้สลัดจ์จากถังตกตะกอนชั้นสุดท้ายเอ่อล้นออกมากับน้ำทิ้งหลังการกำจัดทำให้น้ำทิ้งหลังการ กำจัดยังคงมีค่า SS, BOD และ BOD สูง

การลอยตัวของสลัดจ์ หมายถึงการที่ตะกอนเล็ก ๆ ของสลัดจ์มีความหนาแน่น น้อยและเบา เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนใน ๑ ชั่วโมง จะพบว่าปริมาตรส่วนที่ใส (supernatant) จะน้อยมากเพื่อเทียบกับปริมาตรส่วนที่ขุ่นของตะกอนสลัดจ์ เครื่องบ่งชี้ให้ทราบว่าเกิดการ ลอยตัวของสลัดจ์หรือไม่คือ ค่า Sludge Volume Index (SVI) ซึ่งคือปริมาตรของ สลัดจ์ 1 กรัม ที่ตกลงมาคิดเป็น มล. ต่อน้ำหนักของแอกทีเวตเตดสลัดจ์ในเวลา ๓๐ นาที

เมื่อค่า SVI อยู่ระหว่าง ๕๐-๑๕๐ มล./กรัม แสดงว่าสลัดจ์อยู่ในสภาวะปกติแต่ถ้าค่า SVI สูงกว่า ๒๐๐ มล./กรัม แสดงว่าจะเกิดปัญหาการลอยตัวของสลัดจ์

สาเหตุที่ทำให้สลัดจ์เกิดการลอยตัวมีหลายอย่างด้วยกัน แต่ที่สำคัญ คือ

๑. การออกแบบถังเติมอากาศและถังตกตะกอนไม่ดี
๒. เกิดจากการกวนระหว่างอากาศและ Mixed Liquor ไม่ทั่วถึง
๓. เกิดจากขาดอาหารเสริมได้แก่ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส
๔. เกิดจากจุลินทรีย์พวกมีเส้นใยบางชนิดที่มักทำให้เกิดปัญหาการลอยตัวของสลัดจ์
๕. เกิดจากจุลินทรีย์ประเภทรา (fungi)

จะเห็นได้ว่าสาเหตุที่ทำให้สลัดจ์เกิดการลอยตัวมีหลายประการแต่การลอยตัวของสลัดจ์ในระบบแอกทิเวตเตดสลัดจ์ส่วนใหญ่มักจะมีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์พวกมีเส้นใย (filamentous organism) เมื่อปี ค.ศ. ๑๙๕๐ เข้าใจกันว่า Sphaerotilus natans เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้สลัดจ์เกิดการลอยตัว จึงเรียกจุลินทรีย์พวกมีเส้นใยทั้งหมดที่ก่อปัญหาการลอยตัวนี้ว่า "Sphaerotilus" ต่อมาปี ค.ศ. ๑๙๕๐ จึงมีการค้นว่า จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการลอยตัวของสลัดจ์ไม่ใช่มีแต่ Sphaerotilus natans ชนิดเดียว ยังมีพวก Bacillus cereus var mycoides, Thiotrix spp. และ Beggiatoa spp. นอกจากนี้ยังพบว่าราชนิดที่ทำให้เกิดการลอยตัวของสลัดจ์ได้แก่ Geotrichum spp. Candida spp. และ Trichoderma spp.

Pipes (๑๙๗๔) ได้ค้นคว้าถึงวิธีการแก้ปัญหาการลอยตัวของสลัดจ์ซึ่งมีสาเหตุจากจุลินทรีย์โดยกรรมวิธีทางเคมีไว้ดังนี้

๑. เมื่อพบว่า SS ของน้ำทิ้งจากถังตกตะกอนชั้นสุดท้ายมีค่าสูงกว่าปกติ ควรทำการทดสอบว่ามีสาเหตุมาจากการลอยตัวของสลัดจ์หรือไม่ โดยการหาค่า SVI ถ้าพบว่าสูงกว่า ๒๐๐ มล./กรัม. หรือเมื่อพบว่าความเข้มข้นของตะกอนหมุนเวียน (returned sludge) มีค่าต่ำแสดงว่าเกิดปัญหาการลอยตัวของสลัดจ์ในระบบแอกทีเวตเต็ดสลัดจ์ขึ้น

๒. เมื่อทราบแน่ชัดจากขั้นแรกแล้วว่าเกิดการลอยตัวของสลัดจ์ ควรตรวจดูจุลินทรีย์ในตัวอย่างสลัดจ์จากถังเติมอากาศและตะกอนหมุนเวียนเพื่อดูว่ามีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์ประเภทใด ถ้าพบว่าเนื่องมาจากจุลินทรีย์พวกไม่มีเส้นใย สามารถกำจัดจุลินทรีย์เหล่านี้ได้ โดยการเติมคลอรีน ๕-๑๐ มก./ลิตร ลงในตะกอนหมุนเวียน

๓. จากขั้นที่ ๒ ถ้าพบว่ามีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์พวกมีเส้นใยต้องตรวจดูให้แน่ชัดด้วยกล้องจุลทรรศน์ว่าเป็นพวกแบคทีเรียหรือรา ถ้ามีสาเหตุมาจากราแสดงว่ามาจากน้ำทิ้งของโรงงาน ต้องแก้ปัญหาน้ำทิ้งและขบวนการผลิตของโรงงาน

๔. ถ้ามีสาเหตุมาจากแบคทีเรียพวกมีเส้นใยจะต้องตรวจหาแหล่งที่มาของแบคทีเรียนี้ว่ามาจากน้ำทิ้งของโรงงานหรือจากระบบตะกอนหมุนเวียน ถ้ามีแหล่งมาจากน้ำทิ้งของโรงงานควรแก้ปัญหาน้ำทิ้งที่ขบวนการผลิต

๕. แหล่งที่มาของแบคทีเรียพวกมีเส้นใยมาจากระบบตะกอนหมุนเวียน ควรกำจัดด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งดังนี้ คือ

- ก. ทิ้งสลัดจ์เก่าทั้งหมดเลี้ยงใหม่ขึ้นมาแทน
- ข. ใช้ยาฆ่าแบคทีเรีย (bactericide) ใส่ในตะกอนหมุนเวียน
- ค. ใช้ตัวช่วยในการตกตะกอน (flocculant or weighting agents) ใส่ในตะกอนหมุนเวียนเพื่อลดค่า SVI

### ๓.๒ ไขมันในน้ำทิ้ง

การที่น้ำทิ้งจากบ้านเรือนหรือจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทมีไขมันปะปนอยู่มากก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบกำจัดน้ำทิ้งทางชีววิทยาอย่างมาก อาจเนื่องจากการลอยตัวของไขมันเป็นเหตุให้ตั้งสารแขวนลอยอื่น ๆ ขึ้นสู่ผิวทำให้ยากต่อการตกตะกอน หรือไขมันอาจห่อหุ้มจุลินทรีย์ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถกินอาหารหรือหายใจได้ หรือเกิดการย่อยสลายน้ำทิ้งช้ามากเพราะจุลินทรีย์ย่อยไขมันได้ช้า ด้วยเหตุดังกล่าวแล้วเมื่อจะมีการกำจัดน้ำทิ้งทางชีววิทยาจำเป็นต้องคำนึงถึงไขมันที่อาจจะปะปนอยู่ในน้ำทิ้งบางประเภท

#### ๓.๒.๑ สภาพทางกายภาพของไขมันในน้ำทิ้ง ไขมันปะปนอยู่ในน้ำทิ้งในรูป

๑. ไขมันในรูปสารแขวนลอย (as suspended fat or oil)

๒. ไขมันในรูปอิมัลชัน (as emulsified fat or oil)

๓. ไขมันในรูปสารละลาย (as dissolved fat or oil)

๑) ไขมันในรูปสารแขวนลอย มีเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคประมาณ  $10^{-4}$  ซม. บางที่เรียก catchable fat ไขมันประเภทนี้สามารถกำจัดได้ง่ายโดยวิธีทางกายภาพ โดยการกักน้ำทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งจึงตัก (skim) ออก

๒) ไขมันในรูปอิมัลชัน หมายถึงไขมันที่อยู่ใน heterogenous system คือประกอบด้วยสารที่ไม่สามารถละลายน้ำอย่างน้อยที่สุดหนึ่งชนิดกระจายอยู่ในสารละลายอื่นมีเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคประมาณ  $10^{-6}$  ซม. ถ้าในน้ำทิ้งไม่มี emulsifying agent และ detergent จะทำให้น้ำและไขมันแยกจากกันได้ง่ายเพียงแต่เขย่าแรง ๆ เพื่อให้ไขมันแตกออกเป็นหยดเล็ก ๆ ซึ่งจะรวมกันมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ตกตะกอนง่าย เนื่องจากทั้ง emulsifying agent และ detergent ต่างก็มีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนกัน คือ ส่วนหนึ่งของโมเลกุลชอบหรือดึงดูดน้ำ (water-liking) เรียก hydrophilic และอีกส่วนหนึ่งชอบหรือดึงดูดน้ำมัน (oil-liking) เรียก oleophilic ไขมันจึงเกาะที่ส่วนของ oleophilic

การกำจัดไขมันในรูปนี้สามารถกำจัดได้ ๒ วิธี คือ

ก. Breaking Emulsion หมายถึงวิธีการทำให้สภาวะแวดล้อมทางกายภาพและทางเคมีของไขมันในรูปอิมัลชันลดกำลังของ emulsifying agent ลง ทำให้ไขมันอยู่ในรูปอิสระ คือ เป็นหยดเล็ก ๆ ซึ่งจะรวมตัวกันตกตะกอนได้

ข. Cracking Emulsion อาจโดยการตกตะกอนด้วยสารเคมี หรือการลดหรือเพิ่ม pH หรือการให้ความร้อน (heating)

๓) ไขมันในรูปสารละลาย เป็นพวกกรดไขมัน (fatty acid) ซึ่งประกอบด้วย oleophilic hydrocarbon chain และ hydrophilic head group การทำให้ H.C chain ลื่น ซึ่งจะแยกไขมันออกจากน้ำได้ง่าย

การกำจัดไขมันในรูปนี้อาจใช้สารซึ่งมีผิวสามารถดูดซับ (adsorption) H.C chain เหลือแต่ hydrophilic head group สารที่นิยมใช้ คือ activated carbon

๓.๒.๒ ประเภทของโรงงานที่มีไขมันปะปนกับน้ำทิ้ง โรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยน้ำทิ้ง ซึ่งมีไขมันปะปนอยู่มิหลายประเภทโดยแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ ๓ ประเภท

ก. Petroleum Refineries

ข. Metal Manufacture

ค. Food Processing Industry



ก. Petroleum Refineries น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทนี้ ไขมันที่ปะปนอยู่มักอยู่ในรูปสารแขวนลอยและอีมีลชัน ไขมันในรูปอีมีลชันมีเฉลี่ยประมาณ ๑๕๐ มก./ลิตร

ข. Metal Manufacture ไขมันที่ปะปนอยู่ในน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทนี้มักอยู่ในรูปอีมีลชันเป็นส่วนใหญ่ เนื่องมาจากการใช้น้ำมันหล่อลื่นเครื่องจักร และแท่งโลหะที่ใช้หมุน (rolling mill) พบว่าน้ำทิ้งจาก cold rolling mill มีไขมันทั้งหมดประมาณ ๗๐๐ มก./ลิตร เป็นไขมันในรูปอีมีลชันมากกว่า ๒๐๐ มก./ลิตร ส่วนน้ำทิ้งจาก hot rolling mill มีไขมันอยู่ในรูปอีมีลชันประมาณ ๒๐ มก./ลิตร

ค. Food Processing Industry ไขมันที่ปะปนอยู่ในน้ำทิ้งของโรงงานประเภทนี้มักมีปริมาณไม่คงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่ผลิต เช่น โรงงาน meat packing house อาจปล่อยน้ำทิ้งที่มีไขมันสูงหลายพัน มก.ต่อลิตร

เนื่องจากไขมันที่มีอยู่ในน้ำทิ้งทำให้การกำจัดน้ำทิ้งโดยทางชีววิทยาไม่ให้ผลดีเท่าที่ควร ดังนั้นก่อนการกำจัดน้ำทิ้งที่มีไขมันอยู่ไม่ว่าจะอยู่ในรูปใดดังกล่าวแล้ว จึงจำเป็นต้องกำจัดไขมันออกเสียก่อนที่จะนำน้ำทิ้งนั้น เข้าสู่ระบบกำจัดทางชีววิทยาต่อไป

### ๓.๓ การกำจัดไขมัน

การกำจัดไขมันในน้ำทิ้ง สามารถกำจัดได้ทั้งวิธีทางกายภาพได้แก่ การตักหรือกวาด (skimming) การทำให้ลอย (flotation) ฯลฯ และวิธีทางเคมีได้แก่การใช้สารเคมีช่วยในการตกตะกอน (chemical precipitation) เป็นต้น ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ทดลองกำจัดไขมันโดยวิธีการทำให้ลอย (flotation) และการใช้สารเคมีช่วยในการตกตะกอน จึงขอกล่าวถึงรายละเอียดเฉพาะ ๒ วิธีนี้เท่านั้น

### ๓.๓.๑ การทำให้ลอย (Flotation)

การทำให้ลอย หมายถึงวิธีการที่เปลี่ยนตะกอนแขวนลอยที่มีขนาดเล็กละเอียดหรือไขมันให้อยู่ในลักษณะที่ลอยอยู่ผิวของเหลว โดยมีตัวการช่วยทำให้ลอยคือ ฟองอากาศ ฟองอากาศจะดึงอนุภาคตะกอนให้ลอยขึ้น

ชนิดของการทำให้ลอย การทำให้ลอยโดยแบ่งตามลักษณะการให้ฟองอากาศ แบ่งออกเป็น ๓ แบบ คือ

ก. Aeration Type Unit

ข. Pressure Type Unit หรือ Dissolved Air Flotation

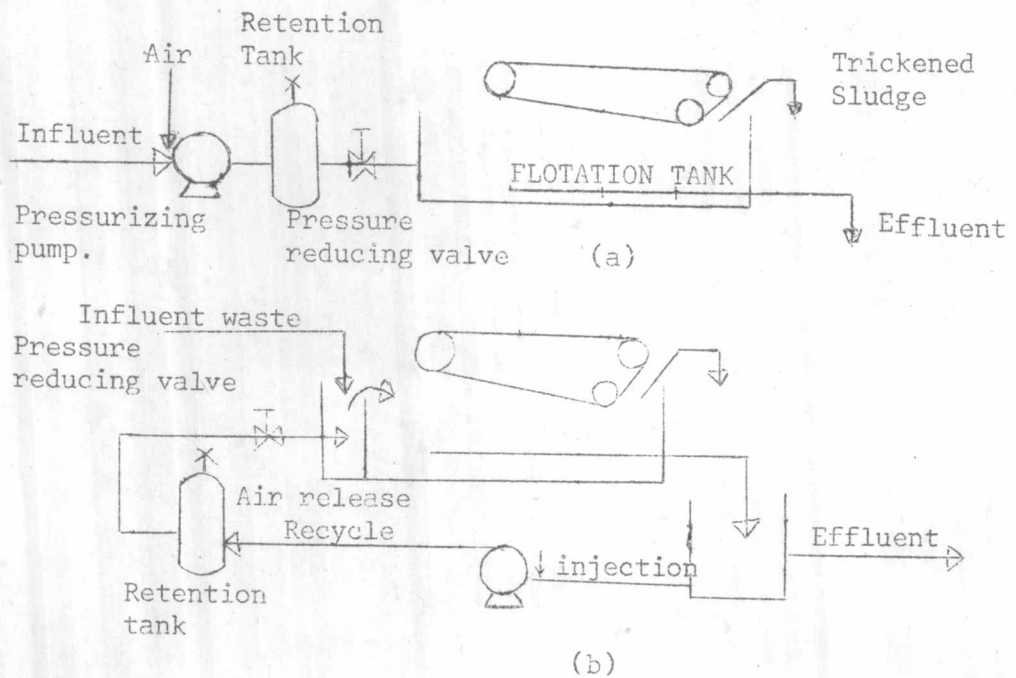
ค. Vacuum Type Unit

ก) Aeration Type Unit เป็นการให้ฟองอากาศแบบง่ายที่สุด คือ เป่าฟองอากาศลงไปใต้น้ำโดยตรง โดยใช้เครื่องเป่าอากาศแบบฟองอากาศ (diffusing mechanism) ปกติมักให้อากาศประมาณ ๐.๑ ลบฟ ต่อแกลลอน ในเวลาประมาณ ๓๐ นาที เหมาะสำหรับน้ำทิ้งที่มีตะกอนเบาหรือไขมันซึ่งมีความโน้มเอียงที่จะลอยอยู่เพียงแต่ให้ฟองอากาศไปดันก็จะลอยขึ้นสู่ผิวของเหลวอย่างง่ายดาย

ข) Pressure Type Unit หรือ Dissolved Air Flotation โดยอัดอากาศเข้าไปใต้น้ำทิ้งด้วยอากาศ ประมาณ ๑-๓ บรรยากาศ เพื่อให้อากาศละลายในน้ำอย่างอึดอัด เมื่อความดันของน้ำทิ้งลดลงอากาศที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้งอย่างมากเกินระดับอึดอัดจะถูกปล่อยออกจากน้ำทิ้งเป็นฟองเล็ก ๆ ซึ่งจะดึงหรือยกสารแขวนลอยขึ้นสู่ผิวของของเหลว ระบบ Dissolved Air Flotation นี้แบ่งเป็น ๒ ประเภท คือ

๑. ประเภทที่ไม่มีมีการ recycle ดังรูปที่ ๒๐ (a) บางทีเรียกวิธีนี้ว่า Split Treatment โดยมีหลักการ คือ น้ำทิ้งจะถูกสูบด้วยเครื่องสูบลมที่มีความดันสูงเข้าไปในถังเก็บ (pressure tank) พร้อมกับอัดอากาศเข้าในน้ำโดยระยะเวลาเก็บกักนาน เพื่อให้อากาศละลายได้ทั่วถึงกันตลอดจึงปล่อยน้ำทิ้งเข้าสู่ถังทำให้ลอย (flotation tank) เพื่อให้อากาศละลายได้ทั่วถึงกันตลอดจึงปล่อยน้ำทิ้งเข้าสู่ถังทำให้ลอย (flotation tank)

๒. ประเภทที่มี recycle ดังรูปที่ ๒๐ (b) ระบบนี้จะนำน้ำใสจากถังลอย (flotation tank) มาเพิ่มความดันเพื่อให้เกิดฟองอากาศอีกครั้ง ประสิทธิภาพของระบบนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของอากาศกับน้ำหนักของตะกอนแขวนลอยที่จะแยกออก ซึ่งอัตราส่วนนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของตะกอน ปกติมีค่าอยู่ระหว่าง ๐.๐๐๕ ถึง ๐.๐๖



Schematic representation of flotation system (a) Flotation system without recirculation; (b) Flotation system with recirculation.

รูปที่ ๒๐ แสดงแบบของ DISSOLVED AIR FLOTATION.

(จาก Eckentfelder, 1966)

ค) Vacuum Type Unit มีหลักการตรงกันข้ามกับ Pressure Type Unit ประกอบด้วยน้ำทิ้งที่อึดตัวด้วยอากาศในถังเติมอากาศและทำให้เกิดสูญญากาศ เนื่องจากภายใต้สภาวะสูญญากาศ ความสามารถในการละลายก๊าซในน้ำจะต่ำลงทำให้ถูกปล่อยออกจากสารละลายเกิดเป็นฟองอากาศขนาดเล็กซึ่งจะติ่งอนุภาคตะกอนขึ้นสู่ผิวของเหลวอย่างรวดเร็วและถูกกวาดออกนอกถัง ส่วนกรวดทรายหรือตะกอนหนัก ๆ จะตกตะกอนสู่ก้นถัง

ระบบ Vacuum Type Unit ประกอบด้วยถังเติมอากาศซึ่งให้น้ำทิ้งอึดตัวด้วยอากาศ เก็บกักในระยะเวลาสั้นเพื่อกำจัดฟองอากาศขนาดใหญ่ เครื่องสูบลมสูญญากาศ สกัม (scum) และสลัดจ์ และถังสูญญากาศเป็นรูปทรงกระบอกมีฝาปิดซึ่งรักษาความเป็นสูญญากาศได้โดยบรรจุปรอทสูง ๔ นิ้ว

ขนาดถังสูญญากาศมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ๑๒-๖๐ ฟุต บรรจุน้ำลึกประมาณ ๑๐ ฟุต อากาศที่ต้องการใช้ประมาณ ๐.๐๒๕ - ๐.๐๕ ลบฟ ต่อแกลลอนของน้ำ

### ๓.๓.๒ การตกตะกอนโดยใช้สารเคมี (Chemical Precipitation)

การตกตะกอนโดยสารเคมีเป็นวิธีการกำจัดน้ำทิ้งเพื่อให้มีความใส (ปราศจากอนุภาคตะกอนในรูปต่าง ๆ ) โดยการเติมสารเคมี

๓.๓.๒.๑ ผลจากการเติมสารเคมี เมื่อเติมสารเคมีลงในน้ำทิ้งอธิบายผลที่จะเกิดได้ดังนี้

๑. น้ำทิ้งมีเกลือของพวกโลหะหนัก เมื่อเติมสารที่เป็นด่างลงไปจะเกิดตะกอนหนักเป็นจำนวนมากซึ่งจะติ่งพวกสารคอลลอยด์ซึ่งอยู่ในรูปแขวนลอยให้ตกลงสู่เบื้องล่าง

๒. โดยธรรมชาติอนุภาคคอลลอยด์ (colloidal particle) มีประจุไฟฟ้าซึ่งทำให้แต่ละอนุภาคผลัดซึ่งกันและกันทำให้อยู่ในสภาพแขวนลอย (suspension)

เมื่อเติมประจุที่ตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาคคอลลอยด์จะมีผลเป็นกลาง ทำให้อนุภาคตกตะกอนลง จากคำอธิบายดังกล่าวนี้จะเห็นได้ว่าเกลือเฟอร์ริก (ferric salt) มีประสิทธิภาพในการทำให้ตกตะกอนได้ดีกว่าเกลือเฟอร์รัส (ferrous salt)

๓. การใช้อนุภาคที่มีพื้นที่ผิวมากและไม่สามารถละลายน้ำได้เพื่อดูดซับสารคอลลอยด์ (colloids) โดยอนุภาคดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางเพื่อการตกตะกอน ตัวอย่างคือ activated charcoal

๓.๓.๒.๒ สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน

สารเคมีที่นิยมใช้ในการตกตะกอน คือ เฟอร์ริกคลอไรด์ (ferric chloride) เฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulfate) เฟอร์ริกซัลเฟต (ferric sulfate) สารส้ม (alum) ปูนขาว (lime) และโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) การเลือกใช้สารเคมีขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของน้ำทิ้ง เครื่องมือที่ใช้ในการเติมสารเคมีซึ่งหาได้ง่ายและราคาสารเคมีที่จะใช้ เครื่องมือที่ใช้ในการเติมสารเคมีต้องสามารถควบคุมให้ได้ผลละเอียด ราคาถูกและสามารถป้องกันไม่ให้สารเคมีรั่วไหลสู่แหล่งน้ำได้

ปี ค.ศ. ๑๙๓๖ Texas Engineering Experiment at College Station (จาก ASCE & WPCF, 1956) ใช้สารเคมีต่าง ๆ ตกตะกอนน้ำทิ้งจาก Dallas โดยแสดงผลของประสิทธิภาพในการกำจัดไว้ดังนี้

เกลืออลูมิเนียม (aluminium salt) ได้แก่เกลืออลูมิเนียมคลอไรด์ (aluminium chloride) และเกลืออลูมิเนียมซัลเฟต (aluminium sulfate) พบว่า อลูมิเนียมคลอไรด์ให้ประสิทธิภาพในการตกตะกอนดีกว่าและใช้ปริมาณที่น้อยกว่า

การใช้สารส้มในการตกตะกอนน้ำทิ้ง จะกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นโดยการเอาน้ำออกด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ (vacuum filter) ได้ยากมาก เนื่องจากแผ่นตะกอนมีความบางจนทำให้เกิดเมือกอุดตันเครื่องกรอง นอกจากนี้สลัดจ์ (sludge) ที่เกิดจากการใช้สารส้มจะมีปริมาณมากกว่าการใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (ferric chloride) และปูนขาว (lime)

เกลือแร่เหล็ก (iron salt) จากการทดลองพบว่าเกลือเฟอร์ริก (ferric salt) สามารถตกตะกอนได้ดีกว่าเกลือเฟอร์รัส (ferrous salt) นอกจากนี้ยังใช้ในช่วง pH ที่กว้างกว่าและปริมาณที่ใช้ต่ำกว่าเกลือเฟอร์รัส (ferrous salt) แต่เกลือเฟอร์ริกจะตกตะกอนได้ดีในช่วง pH ที่ต่ำกว่าเกลือเฟอร์รัส ดังนั้นถ้าใช้เกลือเฟอร์รัสเมื่อน้ำทิ้งมีความเป็นด่างอยู่สูงอาจจะเป็นการประหยัดกว่า

ปูนขาว (Lime) ใช้เพื่อทำให้น้ำทิ้งมีความใสซึ่งปฏิกิริยาที่ทำให้น้ำทิ้งใสอาจเนื่องจากการเกิดตะกอนเล็ก ๆ (floc) ของแคลเซียมคาร์บอเนต ผลที่ได้จากการใช้ปูนขาวตกตะกอน คือ การแยกอนุภาคเล็ก ๆ และการกำจัดไขมัน

๓.๓.๒.๓ องค์ประกอบที่สำคัญสำหรับใช้ในการตกตะกอนโดยใช้สารเคมี คือ ถังผสมสารเคมี (mixing tank) ถังกวน (flocculation tank) และถังตกตะกอน (settling tank)

ถังผสมสารเคมี (Mixing tank) เป็นการผสมสารเคมีกับน้ำทิ้งโดยเร็วเพื่อให้สารเคมีกระจายได้ทั่วถึงกันตลอดก่อนที่จะเกิดตะกอนเล็ก ๆ (floc) ใช้ระยะเวลาสั้นเพราะถ้านานเกินไป ตะกอนเล็ก ๆ (floc) อาจจะแตกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ทำให้ตกตะกอนช้า เครื่องกวนอาจเป็นแบบใบพัดเรือ (propellers) หรือใบพาย (paddles) หรือแบบฟองอากาศ (diffused air) ระยะเวลาในการกวนน้ำทิ้งนานประมาณ ๓๐-๑๔๐ นาที

ถังกวน (Flocculation tank) หลังจากทีสารเคมีและน้ำทิ้งถูกกวนอย่างรวดเร็วมาแล้ว จะเกิดตะกอนอสัณฐาน (amorphous precipitate) จำนวนมากเมื่อเริ่มกวนช้า ๆ ตะกอนเล็ก ๆ ที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่สามารถตกตะกอนได้ง่ายขึ้น ขบวนการเช่นนี้เรียก flocculation ตะกอนที่เกิดขึ้นเรียก floc

ถังตกตะกอน (Settling tank) มีหน้าที่กักให้ตะกอนที่เกิดขึ้นตกลงสู่ก้นถัง ปกติใช้ระยะเวลาในการเก็บกักนาน ๒ ชั่วโมง และในอัตราน้ำทิ้งจากถังกวนที่เข้ามาไม่เกิน ๑๐๐๐ แกลลอนต่อ ตรฟ.ของพื้นที่ต่อวัน

๓.๓.๒.๔ ประโยชน์ในการใช้สารเคมีเพื่อช่วยในการตกตะกอน

การใช้สารเคมีช่วยในการตกตะกอนน้ำทิ้ง คือ เพื่อกำจัดสี ความขุ่น COD, BOD และไขมันของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

น้ำทิ้งที่มีน้ำมันอยู่ในรูปอิมัลชัน (emulsified oil) สามารถทำให้ตกตะกอนโดยปูนขาวหรือโดยการลด pH เพื่อทำลายอิมัลชัน (emulsion breaking) แล้วใช้สารส้มเพื่อให้ตกตะกอน