บทที่ 3

ลักษณะโดยทั่วๆไปของระบบกำจัดแบบ Activated Sludge

Activated Sludge เป็นกรรมวิธีในการกำจัดน้ำโสโครกโดยอาศัยพื้นฐานทางชีวภาพ (Biological) ทำให้สารที่อยู่ในรูปของ Dissolve หรือ Colloidal Organic ตกตะกอนลงมาเป็น Settleable Organic Solids ทำให้สามารถกำจัดออกไปได้ ซึ่งการกำจัดน้ำโสโครกด้วยวิธีนี้ จะสามารถกำจัดได้ดีพอสมควร แต่จะต้องใช้ผู้มีความรู้มาดำเนินงานเกี่ยวกับระบบกำจัด กรรมวิธีในการกำจัดน้ำโสโครกของระบบกำจัดนี้ก็คือ อาศัยพวกจุลินทรีย์ (Microorganisms) ชนิดต่างๆที่เป็นทั้ง พืช และสัตว์ เช่นแบคทีเรีย โปรโตซัว เป็นต้น จุลินทรีย์พวกนี้จะใช้สารอินทรีย์ (Organic Matter) ที่อยู่ในน้ำโสโครกไปใช้เป็นอาหารเพื่อให้เกิดการดำรงค์ชีพ โดยจำเป็นที่จะต้องมีเครื่องเติมอากาศ (Aerator) ซึ่งต้องทำงานสองอย่าง คือ พัดกวนให้น้ำโสโครก และตัวจุลินทรีย์ผสม คลุกเคล้ากันเป็นอย่างดี และขณะเดียวกัน จะเติมออกซิเจนเข้าในน้ำด้วย เพราะจุลินทรีย์จะดูดซึมเอาออกซิเจนในน้ำไปใช้หมดในเวลาอันรวดเร็ว หากไม่มีการเติมอากาศให้เพียงพอระบบก็จะเป็น Aerobic ไม่ได้

การกำจัดน้ำโสโครกจากบ้านเรือนด้วยขบวนการกำจัดน้ำโสโครกแบบ Activated Sludge นั้น น้ำโสโครกจะต้องผ่านการกำจัดขั้นแรกคือ Grit และ Screen แล้วจึงผ่านเข้าไปในถังตกตะกอนขั้นแรก (Primary Sedimenta -tion Tank) เพื่อให้มีการตกตะกอนของพวกดิน กรวด ทราย ซึ่งไม่ใช่สารอินทรีย์ ต่อไปจะผ่านเข้าสู่ถังเติมอากาศ (Aeration Tank) ซึ่งมีพวกจุลินทรีย์สำหรับไว้ทำปฏิกริยาในการกำจัดสิ่งปฏิกูลในน้ำโสโครก ขนาดของถังเติมอากาศจะเป็นเท่าไรขึ้นอยู่กับว่า จะให้ระบบกำจัดมีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่าไร หลังจากนี้แล้วน้ำซึ่งจะมีทั้งของเหลว และตะกอนก็จะไหลผ่านไปสู่ ถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย (Final Sedimentation Tank) ในถังนี้ตะกอนจุลินทรีย์ (Activated Sludge) จะแยกตัวตกลงสู่เบื้องล่าง ที่เหลือส่วนบนจะเป็นน้ำใสซึ่งจะถูกปล่อยเป็นน้ำทิ้งต่อไป

ตะกอนที่ตกอยู่ก้นถังส่วนหนึ่งจะต้องสูบกลับ (Sludge Recycle) ไปสู่ถังเติมอากาศ เพื่อรักษาปริมาณจุลินทรีย์ที่กำหนดไว้ในการทำความสะอาดน้ำโสโครก ตะกอนที่เกินความต้องการ (Waste Sludge) ซึ่งเกิดเนื่องจากการเจริญเติบโตในการดำรงค์ชีพของจุลินทรีย์ จะถูกสูบออกไปกำจัดอีก เช่นนำเข้า Digestor เพื่อให้เกิดปฏิกริยาย่อยสลาย โดยให้จุลินทรีย์แปรสภาพด้วยวิธีการแบบ Anerobic จนองค์ประกอบส่วนใหญ่มีความอยู่ตัว (Stable) จนสามารถนำไปตากแห้ง กรองน้ำแยกออกระบายกลับไปกำจัดอีก ส่วนกากตะกอนก็นำเข้าเครื่องเผา หรือนำเอาไปถมที่ดินต่อไป

น้ำโสโครกที่ผ่านถังตกตะกอนขั้นแรกแล้ว อาจจะเรียกว่าน้ำทิ้งขั้นแรก (Primary Effluent) ตะกอน (Sludge) จากถังตกตะกอนขั้นแรกเรียกว่าตะกอนแรก (Primary Sludge) ส่วนผสมของของน้ำโสโครกกับตะกอน (Sludge) ในถังเติมอากาศเรียกว่า " Mixed Liquor Suspended Solid" (MLSS) ตะกอนส่วนที่ถูกสูบกลับมายังถังเติมอากาศเรียกว่า Return Activated Sludge) ตะกอนส่วนที่เกินจะถูกนำไปทิ้งเรียกว่า Wasted Sludge

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบกำจัดน้ำโสโครกแบบ Activated Sludge จึงมีดังนี้

1. ถังตกตะกอนขั้นแรก Activated Sludge บางแบบที่เป็น Complete Oxidation เช่นแบบที่เรียก Extended Aeration เพราะระบบแบบนี้ไม่มี Digestor ถ้ามีถังตกตะกอนขั้นแรก ก็จะต้องมีตะกอนที่จะนำเข้าสู่ตัว Digestor อีกทำให้ยุ่งยากผิดวัตถุประสงค์

2. ถังเติมอากาศ เป็นหัวใจของระบบกำจัดแบบนี้ ซึ่งจะต้องมีขนาดพอที่จะเก็บกักจุลินทรีย์สำหรับกำจัดปฏิกูลในน้ำโสโครกได้ตามต้องการ ในถังนี้จะมีตัวเติมอากาศ (Aerator) ซึ่งจะคอยเติมออกซิเจน และต้องสามารถเติมออกซิเจนให้กับระบบได้มากพอกับความต้องการของจุลินทรีย์ และจะช่วยกวนไม่ให้ตะกอนตกค้างอยู่ในถังเติมอากาศด้วย

3. ถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย มีเพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำทิ้งก่อนทิ้ง

4. เครื่องสูบที่ใช้สูบตะกอนย้อนกลับมา (Recycle Pump) เข้าสู่ถังเติมอากาศ

5. ถังเก็บกักตะกอนส่วนที่เกิน

6. ลานตากตะกอน

ประสิทธิภาพในการกำจัดของระบบกำจัดจะสูงต่อเมื่อจุลินทรีย์จะนำเอาสารอินทรีย์ และส่วนที่เป็น Colloid ไปใช้เป็นอาหารได้เร็ว และหมดจด โดยที่จุลินทรีย์เหล่านั้นจะต้องสามารถรวมตัวกันตก แยกลงมาทำให้น้ำใสด้วย และขบวนการในการกำจัดจะต้องไม่เกิดปัญหารบกวนจากกลิ่น และแมลง

จากขบวนการในการกำจัดนั้น ตะกอนจุลินทรีย์ จะเข้าไปผสมกับน้ำโสโครกซึ่งมีค่าความสกปรกสูง (BOD or COD) จุลินทรีย์จะช่วยดูดซึมเอาความสกปรกเก็บไว้ในตัว เพื่อใช้ในขบวนการ Synthesis และ Oxidation ซึ่งกินเวลาหลายชั่วโมง การเจริญเติบโตจะเกิดเมื่อปริมาณของอาหารมีมาก และปริมาณของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (Dissolve Oxygen) มีมากพอกับความต้องการของจุลินทรีย์ ในการกินอาหารนี้ถ้าหากว่าไม่มีการระบายตะกอนทิ้งเลย อัตราการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์จะมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้เกิดการตกตะกอน แยกน้ำใสออกเป็นไปได้ยาก ซึ่งการจะทำให้เกิดการสมดุลย์ของระบบกำจัดจำเป็นจะต้องควบคุม อาหาร (BOD) อากาศ (D.O.) และการนำเอาตะกอนออกไปทิ้ง (Waste Sludge เพื่อให้มีปริมาณตะกอนที่เหมาะสม ตามที่ออกแบบไว้จึงจะทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพตามต้องการ

ลักษณะที่สำคัญทาง Biochemical Reaction

ระบบกำจัดน้ำโสโครกแบบ Activated Sludge นั้นเป็นระบบกำจัดน้ำโสโครกที่ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำโสโครกได้เกินกว่า 90 % ซึ่งส่วนที่ถูกกำจัดไปส่วนใหญ่ได้แก่พวกสารอินทรีย์ การกำจัดจะอาศัยพื้นฐานทางด้าน Biochemical Reaction เป็นส่วนใหญ่ SYMONS และ McKINNEY ได้อธิบายถึงขบวนการในการกำจัดของระบบกำจัดแบบนี้คือ การกำจัดจะเกิดจากปฏิกริยา 2 ชนิดคือ Synthesis และ Oxidation

$$\text{Organic Carbon} \longrightarrow CO_2 \qquad \text{(oxidation)}$$

$$\text{Organic Carbon} \longrightarrow \text{New Bacterial Cell} \quad \text{(synthesis)}$$

สำหรับขบวนการ Synthesis ของพวกแบคทีเรียค่อนข้างสลับซับซ้อน การที่แบคทีเรียจะเจริญเติบโตได้ดีต้องอาศัยสารต่างๆ เช่น Enzyme, Coenzyme ซึ่งจะไปช่วยในขบวนการ Synthesis ของแบคทีเรีย สารที่ประกอบเป็นตัวแบคทีเรียส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ที่อยู่ในธรรมชาติ เช่น C, H, O, & , S อาจจะมีสารอนินทรีย์อื่นที่แบคทีเรียจำเป็นจะต้องใช้ในขบวนการ Synthesis เช่น Cathion ต่างๆ เช่น Na , Ca , Mg , และ Enzyme Activator พวก ฟอสฟอรัสจะช่วยให้เกิดการถ่ายเทพลังงานของพวก Enzyme สารพวกไนโตรเจน แบคทีเรียจะนำเอาไปสร้างกรดอมิโน (Amino Acid) และเซลของแบคทีเรีย ซึ่งขบวนการลดความสกปรกของน้ำโสโครกจึงอาจจะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Total Removed} = \text{Oxidation} + \text{Synthesis}$$

การกำจัดน้ำโสโครกที่ต้องอาศัยพื้นฐานทางด้านBiochemical Reaction เช่น LESPERANCE ได้อธิบายถึงข้อมูลที่จำเป็นของระบบกำจัดน้ำโสโครกแบบ Activated Sludge ไว้ดังต่อไปนี้

1. <u>การสมดุลย์</u>(Reaction Equation)

เนื่องจาก น้ำโสโครก จุลินทรีย์ และอากาศนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้อย่างพอเหมาะ ตามอัตราส่วนที่ต้องการจริงๆ ของระบบกำจัดน้ำโสโครกแบบ Activated Sludge ซึ่งทั้งสามอย่างนี้จะรวมกันอยู่ในถังเติมอากาศ ถ้าหากว่ามีการควบคุมทั้งสามสิ่งนี้ ให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมแล้ว ปฏิกริยาต่างๆในการกำจัดน้ำโสโครกก็จะเกิดดี และรวดเร็ว ประสิทธิภาพในการกำจัดจะสูง

2. <u>อินทรีย์สาร</u> (Organic Waste)

เนื่องจากระบบกำจัดแบบทางชีวภาพ (Biological) นี้จะไปลดสารอินทรีย์ ในน้ำโสโครกที่เป็นตัวใช้ออกซิเจน(Oxygen Consuming) ซึ่งระบบกำจัดจะกำจัดสารอินทรีย์โดยขบวนการต่างๆกันเช่น Reduction , Oxidization และ Stabilizationค่าของความสกปรกของน้ำโสโครกมักจะวัดออกมาในรูปของ Biochemical Oxygen Demand (BOD) ซึ่งอาจจะวัดได้โดยตรง หรือใช้วิธีการวัดออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นในเมื่อสารอินทรีย์ที่เป็นตัวใช้ออกซิเจนลดลงเพราะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการเติบโต

แต่การวัดค่าความสกปรกแบบใช้ค่าของ BOD นั้นจะรู้ผลช้า จะต้องใช้เวลาถึง 5 วัน จึงนิยมใช้ค่า Chemical Oxygen Demand (COD) แทนเพราะจะรู้ผลเร็วขึ้น แต่เราจะต้องทราบอัตราส่วนระหว่าง BOD/COD ถ้าหากว่ามีค่าต่ำกว่า 0.67 แล้วจะกำจัดน้ำโสโครกด้วยวิธีทาง Biological ไม่ได้ หรือได้ก็ต้องใช้ระยะเวลานาน ๆ

3. จุลินทรีย์ปฏิกริยา (Active Microorganism)

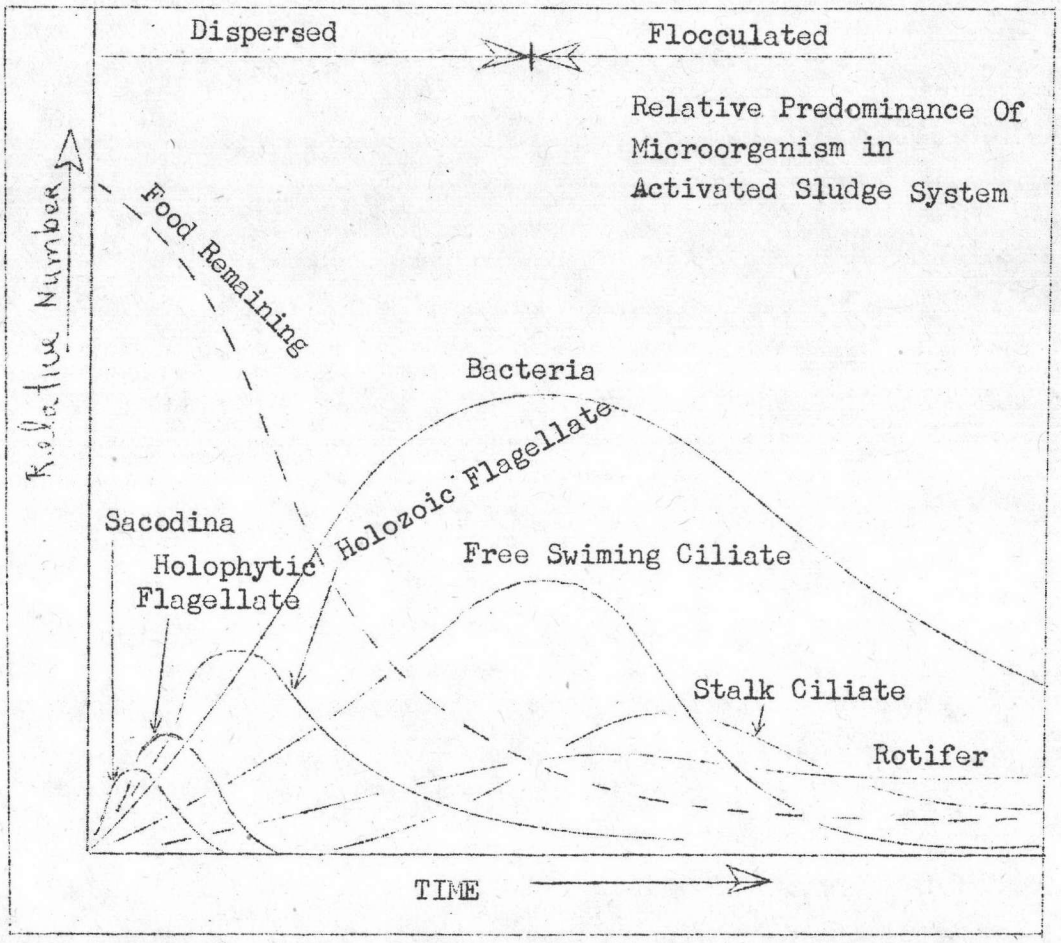
ในการกำจัดน้ำโสโครกโดยใช้พวกจุลินทรย์นั้นค่าของความสกปรก (BOD or COD) จะใช้เป็นอาหารให้กับพวกจุลินทรีย์ ส่วนมากจะเป็นจุลินทรีย์จำพวก Heterogeneous Microoganism มีพวกอื่นๆปะปนอยู่บ้าง พวกนี้จะเป็นทั้งพืช และ สัตว์ที่อาศัยอยู่ในดิน และน้ำทั่วไป ในระบบกำจัดนั้นจะเรียกรวม ๆกันไปว่า " ตะกอนจุลินทรีย์ " (Biological Sludge) ซึ่งวิเคราะห์เป็นค่าที่เรียกว่า " Mixed Liquor Suspended Solids " (MLSS)

ในทางปฏิบัติ MLSS หมายถึง Suspended Solids ที่อยู่ในระบบกำจัด ซึ่งรวมกันระหว่างสาร Inert และ Biological Sludge ซึ่งสาร Inert จะไม่มีความสำคัญในระบบกำจัด เพราะพวกนี้จะไม่ช่วยในการกำจัดสารอินทรีย์ พวก Biological Sludge เท่านั้นที่จำเป็น และช่วยในการกำจัด บางครั้งจะให้ได้ค่าตะกอนจุลินทรีย์แน่นอนลงไปอีก อาจจะใช้ค่าวิเคราะห์ที่เรียกว่า " Mixed Liquor Volatile Suspended Solids =MLVSS หรือ " ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนที่เผาไหม้ได้หมด " มาใช้แทนก็ได้ MLVSS นี้โดยทั่วไปมีค่าราว 0.8 ของ MLSS แต่ในด้านการออกแบบใช้ MLSS สะดวกกว่า

รูปที่ 4 จะแสดงการเกิดจุลินทรีย์ชนิดต่างๆระหว่างการกำจัดน้ำโสโครก ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำโสโครก

4. ตะกอนเกิน (Waste Sludge)

ในการกำจัดน้ำโสโครก เมื่อมีการเพิ่มอาหาร (Loading) ให้กับระบบกำจัด พวกจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มปริมาณมากขึ้น และจะใช้อาหารในการเติบโตมาก เมื่ออัตราการเกิดมากปริมาณอาหารก็จะลดลง หรือถ้าหากเราเติมอาหารให้กับระบบกำจัดตลอดเวลา จุลินทรีย์ก็จะเกิดมากขึ้นจนเกินความจำเป็นที่จะคงไว้ในระบบกำจัด จึงต้องเอาออกไปจากระบบกำจัดเป็นตะกอนส่วนที่เกินของระบบกำจัด



รูปที่ 4 แสดงชนิดของจุลินทรีย์ที่เกิดในระยะต่างๆกัน เกี่ยวข้องกับเวลา และความเข้มข้นของอาหาร

6. ออกซิเจน (Oxygen Requirement)

พวกจุลินทรีย์จะใช้โมเลกุลของออกซิเจน ไปในปฏิกริยาที่เรียกว่า Oxydization ซึ่งปริมาณของออกซิเจนในระบบกำจัด จะต้องมีอย่างเพียงพอเสมอ เพื่อที่จะใช้ในขบวนการ Synthesis และ Oxidises ซึ่งปริมาณความต้องการออกซิเจนของระบบกำจัดนี้ น้ำโสโครกแต่ละชนิดจะมีความต้องการไม่เท่ากัน ซึ่งความต้องการนี้จะมีการคำนวนออกมาได้ เช่น ในการกำจัดแป้ง (Starch) ซึ่งมีสูตรโมเลกุลเป็น $C_6H_{10}O_5$ จะเขียนสมการในการกำจัดได้ดังนี้

$$C_6H_{10}O_5 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 5H_2O$$

พิจารณาการเกิด Final Product ได้นั้นจะต้องใช้ออกซิเจน ถึง 1.9 ปอนด์ ต่อปอนด์ของแป้งที่ถูกกำจัด

หรือใช้ออกซิเจน 1.75 ปอนด์ต่อปอนด์ BOD ที่ถูกกำจัด

$$5C_6H_{10}O_5 + 3N_2 \longrightarrow 6C_5H_9O_3N + 4\tfrac{1}{2}O_2$$

จากสมการจะเห็นว่า จะได้รับออกซิเจนออกมา 0.175 ปอนด์ต่อปอนด์ของแป้งที่ถูกกำจัด หรือได้ออกซิเจนออกมา 0.26 ปอนด์ต่อปอนด์ BOD

สมมุติว่าค่า F/M Ratio ถูกควบคุมให้อยู่ในสภาวะที่จุลินทรีย์สามารถสร้างแป้งให้เป็นเซลได้ 50 % ส่วนอีก 50 % จะเป็น

ออกซิเจนที่ระบบกำจัดต้องการคือ

$$-0.5\ (0.26) - 0.5\ (1.75) = 0.745$$ ปอนด์ออกซิเจนต่อปอนด์ BOD

Synthesis Oxidise

ชนิดต่างๆของระบบกำจัดแบบ Activated Sludge

ระบบกำจัดน้ำโสโครกแบบ Activated Sludge นี้ เป็นระบบกำจัดที่จะสามารถพัฒนา นำไปใช้ในการกำจัดน้ำโสโครกได้เกือบทุกชนิด ซึ่งจากเหตุนี้เองจึงมีผู้ทดลอง ปรับปรุงแก้ไข ให้ระบบนี้ทันสมัยตลอดเวลา ซึ่งทั่วๆไปนั้น แบ่งชนิดของระบบกำจัดแบบ Activated Sludge ได้ดังนี้

1. Conventional Activated Sludge Process

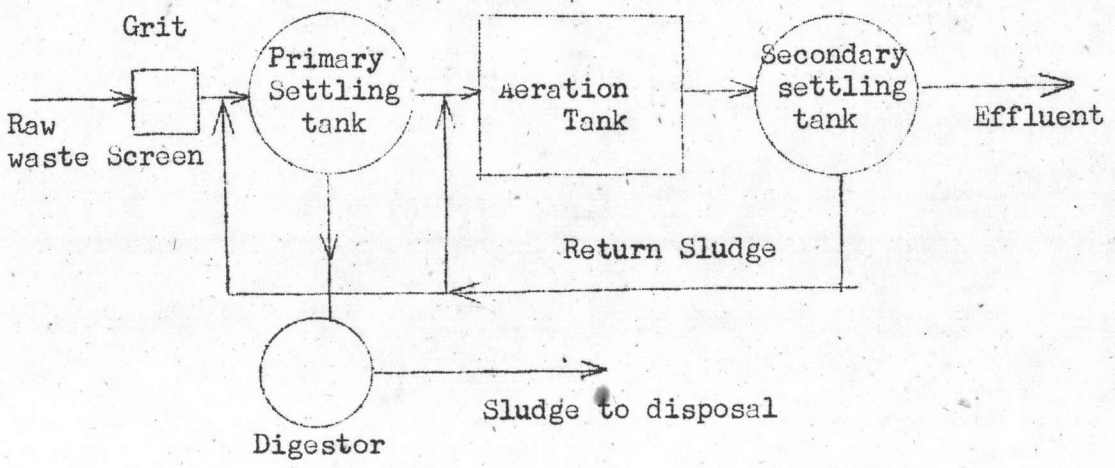
แผนผังแสดงระบบกำจัดน้ำโสโครกแบบ Conventional Activated Sludge Process แสดงให้ดูในรูปที่ 1.

ระบบกำจัดน้ำโสโครกเกือบทุกชนิดที่มีกากตะกอนนอนก้นได้ ควรจะผ่านการกำจัดขั้นแรกเสียก่อน มิฉนั้นก็ต้องมีการกรอง หรือผ่านการบด ตัดให้ขนาดของสารที่ต้องการกำจัด มีขนาดเล็กลงจนละเอียดเสียก่อน

จากรูปที่ 1. หลังจากผ่านการกำจัดขั้นแรกแล้ว Solids จะลดลงไป 45 - 65 % และ COD จะลดลงไป 30 - 35 % ถ้าออกแบบอย่างดี และมีการบำรุงรักษาอยู่ตลอดเวลา เมื่อผ่านการตกตะกอนขั้นแรกแล้ว น้ำโสโครกจะผ่านเข้าไปในถังเติมอากาศ ในถังเติมอากาศนี้ตัวเติมอากาศ จะทำหน้าที่ กวนให้น้ำโสโครกให้ผสมกับจุลินทรีย์ ต่อจากนั้นน้ำโสโครกจะผ่านไปสู่ถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย ดังรูป

ในถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายนี้ ตะกอนจุลินทรีย์จะตกลงสู่ก้นถังและส่วนหนึ่งจะถูกนำย้อนกลับมา ยังถังเติมอากาศ ส่วนบนที่เป็นน้ำใสก็จะถูกปล่อยออกไปเป็นน้ำทิ้ง ระบบกำจัดแบบนี้ เป็นระบบกำจัดที่เก่าแก่ที่สุดที่ใช้ในการกำจัดน้ำโสโครกจากโรงงานอุตสาหกรรมใหญ่ ๆหลายชนิด และสามารถนำมากำจัดให้ลดความสกปรกได้เกินกว่า 90 %

รูปที่ 1 แสดงระบบกำจัดแบบ Conventional Activated Sludge



2. Extended Aeration

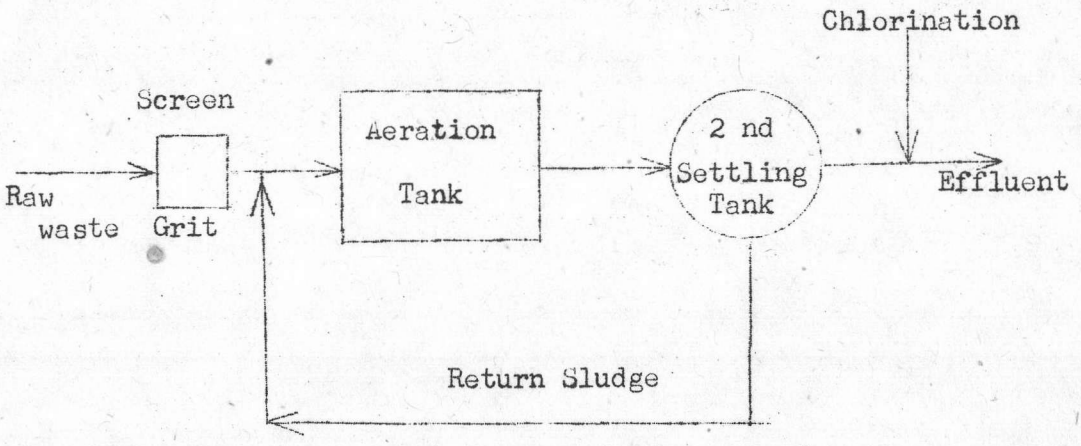
เป็นกรรมวิธีการกำจัดน้ำโสโครกที่พัฒนาจากระบบกำจัดแบบ Conventional A.S. เดิม ซึ่งเพิ่งจะเผยแพร่เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางในระยะหลังนี้เอง แผนผังแสดงดังรูปที่ 2.

กรรมวิธีที่สำคัญคือ การเพิ่มระยะเวลาในการเติมอากาศ จากระบบกำจัดเดิมให้นานเข้า ซึ่งจะนิยมใช้กำจัดน้ำโสโครกที่มีปริมาณประมาณ 1,000 - 1,000,000 แกลลอนต่อวัน และเหตุที่ระบบกำจัดแบบนี้ได้รับความสนใจ นำมาใช้มากขึ้นเนื่องจาก

1. มีความสามารถในการกำจัดสูง
2. ควบคุมดูแลรักษาง่าย เพราะมีส่วนประกอบน้อย
3. การลงทุนต่ำเมื่อเทียบกับระบบกำจัดอื่นๆ

ระบบกำจัดแบบนี้จะลดค่าความสกปรกลงได้ประมาณ 90-95 %

รูปที่ 2 แสดงระบบกำจัดแบบExtended Aeration



ปกติระบบกำจัดนี้จะใช้เวลาในการเติมอากาศอย่างน้อย 24 ชม. เมื่อทำให้ปริมาณของออกซิเจนพอเพียงกับความต้องการ และเกิดการผสมกันได้ดีระหว่างน้ำโสโครกและตัวจุลินทรีย์ แล้วจึงผ่านไปให้เกิดการตกตะกอนในถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย แต่การกำจัดด้วยวิธีนี้จะสามารถตัดเอาถังตกตะกอนขั้นแรก และ Digestor ออกไปได้

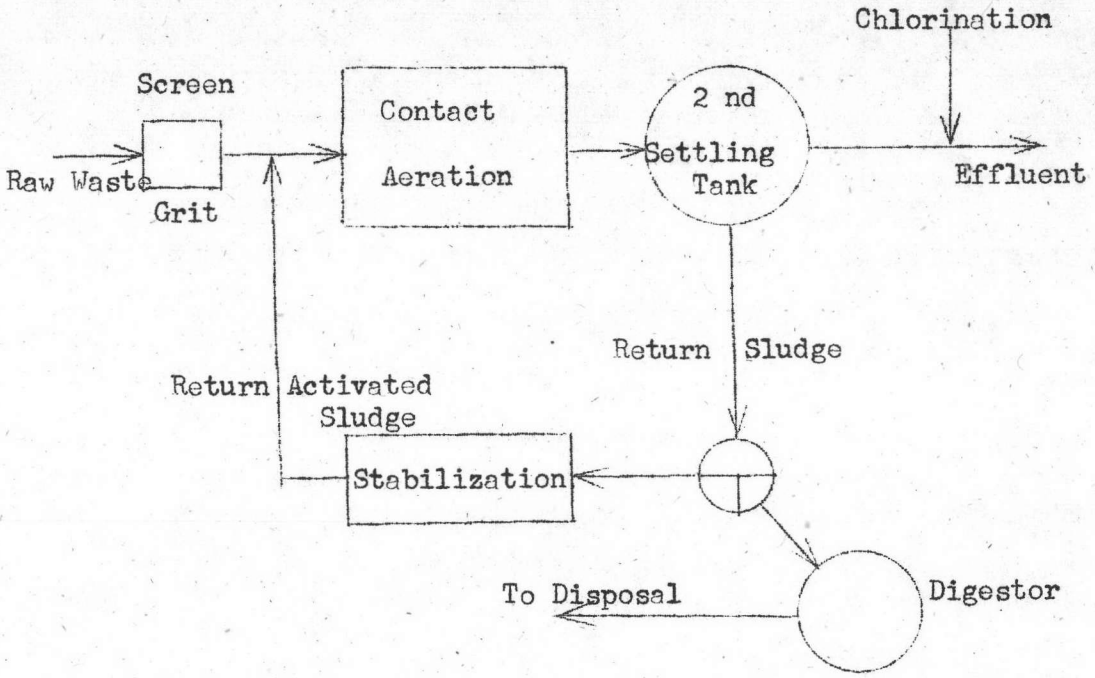
3. The Contact Stabilization Activated Sludge

วิธีนี้ดัดแปลง ปรับปรุง แก้ไข มาจากระบบกำจัดแบบ Conventional Activated Sludge ดังรูปที่แสดงในรูปที่ 3

ความแตกต่างระหว่างระบบกำจัดแบบนี้กับระบบกำจัดอื่นก็คือ ระบบกำจัดแบบอื่นขบวนการ Adsorbtion และ Stabilization จะเกิดในถังเดียวกัน คือเกิดในถังเติมอากาศ แต่ระบบกำจัดแบบนี้ ขบวนการทั้งสองจะแยกออกจากกัน

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

โดยเกิดคนละถัง ทำให้ความต้องการออกซิเจนลดน้อยลง เพราะมีการประหยัดการเติมอากาศ ไม่ให้จนเกินพอในส่วนที่จุลินทรีย์ไม่ต้องการ คือในตอนเกิดการ Adsorbtion และไม่ทำให้สิ้นเปลืองกำลังในการ กวน ผสม (Mixing) ในขณะ Adsorbtion มาก เพราะจะมีการตกตะกอนทำให้จุลินทรีย์เข้มข้นเสียก่อน ก่อนจึงเอามาเติมอากาศ ปริมาตรของตะกอนปฏิกริยาจึงลดลง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดง The Contact Stabilization Activated Sludge