

บทที่ 2

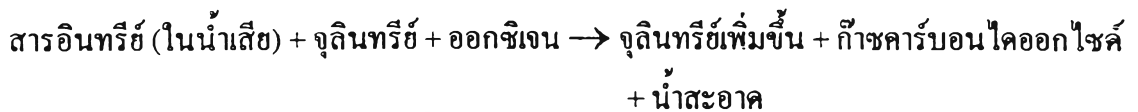
ทบทวนเอกสาร

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลองได้แก่ ระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์ และการกรอง ซึ่งจะได้บรรยายถึงต่อไปนี้

2.1 ระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์

ระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสีย ที่อาศัยหลักชีวเคมี โดยใช้จุลินทรีย์แบบแขวนลอย ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นความสกปรกในน้ำเสีย ในสถานะที่มีออกซิเจน จุลินทรีย์สามารถใช้สารอินทรีย์เป็นอาหาร เพื่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์เพิ่มขึ้น น้ำที่ผ่านการบำบัดจึงมีความสกปรกลดน้อยลง การบำบัดน้ำเสียสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้



ทั้งนี้ จุลินทรีย์แขวนลอยในน้ำต้องจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่หรือฟล็อก เพื่อให้ตกตะกอนได้ดี ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์นี้ ต้องอาศัยปัจจัยดังต่อไปนี้คือ

1. ต้องมีจุลินทรีย์มากเพียงพอในการกำจัดความสกปรก
2. ต้องมีออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) เพียงพอ
3. ต้องสามารถแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำ เพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่สะอาด

2.1.2 จุลชีวะของระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์

จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์ สามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

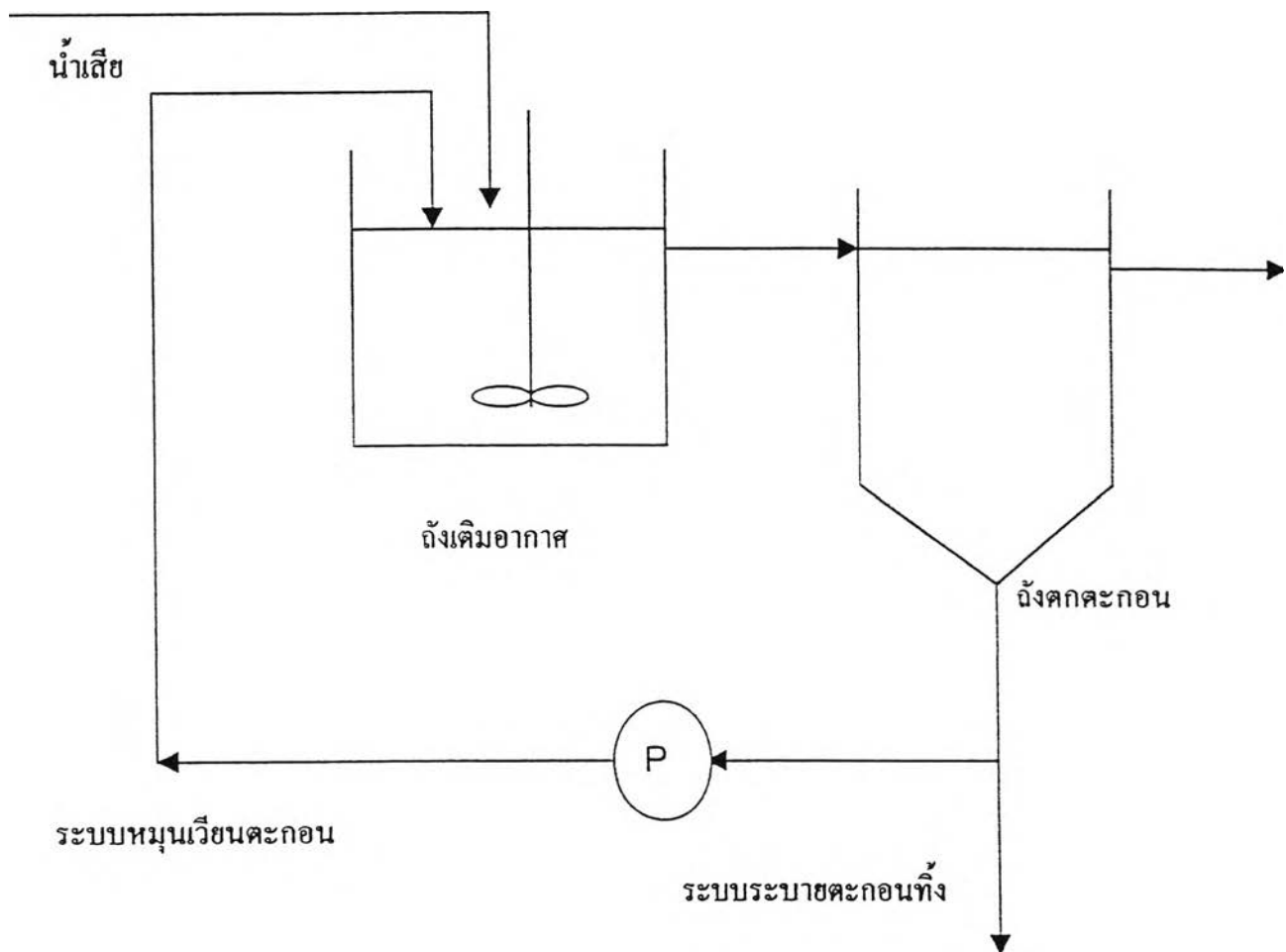
1. จุลินทรีย์สร้างฟล็อก (Floc Forming Organisms) จุลินทรีย์กลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียที่สามารถรวมกันเป็นกลุ่มก้อน ได้ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จนสามารถตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำ และได้น้ำทิ้งใส
2. แชนโพรไฟท์ (Saprophytes) จุลินทรีย์กลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรีย มีหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ ให้มีโมเลกุลเล็กลง แชนโพรไฟท์ปฐมภูมิ จะย่อยสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เล็กลง จากนั้นแชนโพรไฟท์ปฐมภูมิจะย่อยสารอินทรีย์ดังกล่าวให้เล็กลงอีก ระบบบำบัดน้ำเสียที่ดี ควรจะมีแชนโพรไฟท์หลายๆ ชนิด เพื่อที่จะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้อย่างกว้างขวาง

3. จุลินทรีย์ทำลาย (Predators) เป็นจุลินทรีย์ที่กินจุลินทรีย์ที่เล็กกว่าเป็นอาหาร ระบบแอกติเวทเตดสตัคจ์ที่มีจุลินทรีย์ทำลายมาก มักจะทำให้ได้น้ำทิ้งใส และมีประสิทธิภาพสูง จุลินทรีย์ทำลายที่สำคัญได้แก่ ซิลิเอต ที่คลานหากินบนฟลอค (Crawling Ciliate) และซิลิเอตแบบกึ่งก้านสาขา (Stalked Ciliate)

4. จุลินทรีย์ก่อกวน (Nuisance Organisms) เป็นจุลินทรีย์ที่คอยก่อกวนการทำงานของระบบแอกติเวทเตดสตัคจ์ให้มีประสิทธิภาพลดน้อยลง จุลินทรีย์ก่อกวนที่พบบ่อยได้แก่จุลินทรีย์แบบเส้นใย ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคจมตัวไม่ลงของตะกอน

2.1.3 ส่วนประกอบของระบบแอกติเวทเตดสตัคจ์

ระบบแอกติเวทเตดสตัคจ์ต้องมีส่วนประกอบที่สำคัญอย่างน้อย 4 อย่าง คือ ถังเติมอากาศ ถังตกตะกอน ระบบหมุนเวียนตะกอนและระบบระบายตะกอนทิ้ง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนผังของระบบแอกติเวทเตดสตัคจ์

1. ดึงเติมอากาศ หรือดึงเลี้ยงเชื้อ น้ำเสียที่เข้าสู่เติมอากาศ จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียเพื่อให้อาหาร ภายใต้งดต้องมีการเติมออกซิเจน ให้จุลินทรีย์ใช้ในการดำรงชีพ และเจริญเติบโต นอกจากนี้ในการเติมอากาศต้องทำให้เกิดการกวนน้ำอย่างเพียงพอ เพื่อที่จะให้จุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในน้ำได้ตลอดเวลา เพื่อกระจายความสกปรกให้สม่ำเสมอทั่วทั้งถัง และเพิ่มโอกาสสัมผัสระหว่างจุลินทรีย์กับความสกปรก ซึ่งจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหาร จุลินทรีย์และตะกอนสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้รวมกันเรียกว่า Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS) ในการเติมอากาศต้องเติมให้เพียงพอ ไม่ให้ออกซิเจนเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยควรให้มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ไม่น้อยกว่า 2 มก./ล. และถ้าควบคุมระบบให้มีเวลากักตะกอนนาน แบคทีเรียก็จะต้องการออกซิเจนมากขึ้น โดยปกติเมื่อน้ำเสียมีความสกปรกมากเพียงพอ การเติมอากาศเพื่อให้ออกซิเจนจะให้พลังงานในการกวนน้ำที่เพียงพอ

2. ดึงตะกอน จะทำหน้าที่แยกตะกอนออกจากน้ำให้น้ำที่ใส น้ำเสียที่มีตะกอนจุลินทรีย์จะถูกส่งจากถังเติมอากาศมายังถังตกตะกอน เพื่อให้ตะกอนเกิดการจมตัวลงสู่ก้นถังและเกิดการอัดตัวได้ตะกอนที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ส่วนน้ำใสที่ผ่านการตกตะกอนแล้วจะล้นออกทางขอบบนของถังตกตะกอน และปล่อยทิ้งออกจากระบบ ซึ่งคุณสมบัติในการตกตะกอน และการอัดตัวของตะกอน จะขึ้นอยู่กับค่าเวลากักตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสีย

3. ระบบหมุนเวียนตะกอน จะทำหน้าที่สูบตะกอนจุลินทรีย์เข้มข้นจากก้นถังตกตะกอนให้หมุนเวียนส่งคืนกลับไปยังถังเติมอากาศ เพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศให้เพียงพอตามที่ออกแบบไว้ อัตราการหมุนเวียนตะกอนจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตะกอนที่หมุนเวียน และความเข้มข้นของตะกอนในถังเติมอากาศที่ต้องการ

4. ระบบระบายตะกอนทิ้ง จะทำหน้าที่ควบคุมระบบให้มีเวลากักตะกอน หรือ SRT ตามที่ต้องการ เนื่องจากแบคทีเรียมีการเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนขึ้นตลอดเวลาจึงต้องมีการระบายตะกอนแบคทีเรียทิ้งบางส่วน เพื่อไม่ให้มีการสะสมของตะกอนมากเกินไปจนเป็นปัญหาต่อการตกตะกอน การระบายตะกอนทิ้งสามารถทำได้ 2 ทาง คือ ระบายทิ้งออกทางก้นถังตกตะกอน และระบายทิ้งทางถังเติมอากาศ

2.1.4 ระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์ที่นิยมใช้ในประเทศไทย

1. Conventional Activated Sludge (CAS)

ระบบ CAS หรือระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์ธรรมดาที่มีการกวนอย่างสมบูรณ์ภายในถังเติมอากาศผสมการกวนอาจใช้แอร์เรเตอร์ใบพัด หรือแบบเป่าอากาศก็ได้ การกวนสมบูรณ์จะเกิดขึ้นได้ต้องมีการให้พลังงานแก่การกวนน้ำอย่างเพียงพอ

การกวนสมบูรณ์ภายในถัง ทำให้น้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์ที่หมุนเวียนกลับคืนมาเข้าถังเติมอากาศจะถูกกระจายไปทั่วทุกแห่งของถังทันที ทำให้จุลินทรีย์ได้รับอาหารและออกซิเจน

อย่างทั่วถึง ลักษณะของการกวนอย่างสมบูรณ์ทำให้ระบบนี้สามารถใช้ได้ดีกับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งอาจมีสารพิษติดมาด้วย ทั้งนี้เพราะการเจือจางจะเกิดขึ้นทันที ทำให้พิษมีความเข้มข้นลดน้อยลงเป็นอันมาก

ระบบ CAS นี้ถือว่าเป็นระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์แบบธรรมดาซึ่งมีเวลากักตะกอนหรือ SRT ประมาณ 5-10 วัน ทำให้ต้องมีการกำจัดตะกอนที่ระบายทิ้งด้วยวิธีหมัก ก่อนนำไปตากแห้งหรือคั่งน้ำออกด้วยวิธีอื่น ถ้านำตะกอนระบายทิ้งไปตากโดยตรงจะมีการหมิ่นเน่าเกิดขึ้นเนื่องจากตะกอนยังไม่คงตัว

2. Extended Aeration Activated Sludge (EAAS)

ระบบ EAAS หรือระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์แบบหมักในตัว ได้ถูกพัฒนาเพื่อเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบที่ง่ายและสะดวก โดยตัดถังหมักออกไปจากระบบ ดังเดิมอากาศของระบบ EAAS จึงทำหน้าที่ 2 อย่าง คือกำจัดน้ำเสียและย่อยสลายตะกอน ระบบ EAAS จะมีการควบคุมที่แตกต่างจากระบบ CAS โดย EAAS จะควบคุมให้มีระดับ SRT, เวลากักน้ำ และ MLSS สูงกว่า CAS แต่ EAAS มี F/M หรืออัตราส่วนระหว่างอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำกว่า CAS

การควบคุมระบบ EAAS ให้แบคทีเรียอยู่ในถังเดิมอากาศนาน และได้รับอาหารน้อย เพื่อให้เกิดการย่อยสลายตัวเอง เป็นผลให้มีตะกอนส่วนเกินที่ต้องระบายทิ้งเกิดขึ้นน้อย และอยู่ในสภาวะที่คงตัวจนสามารถนำไปตากได้โดยไม่เกิดกลิ่นเหม็น จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ถังหมัก

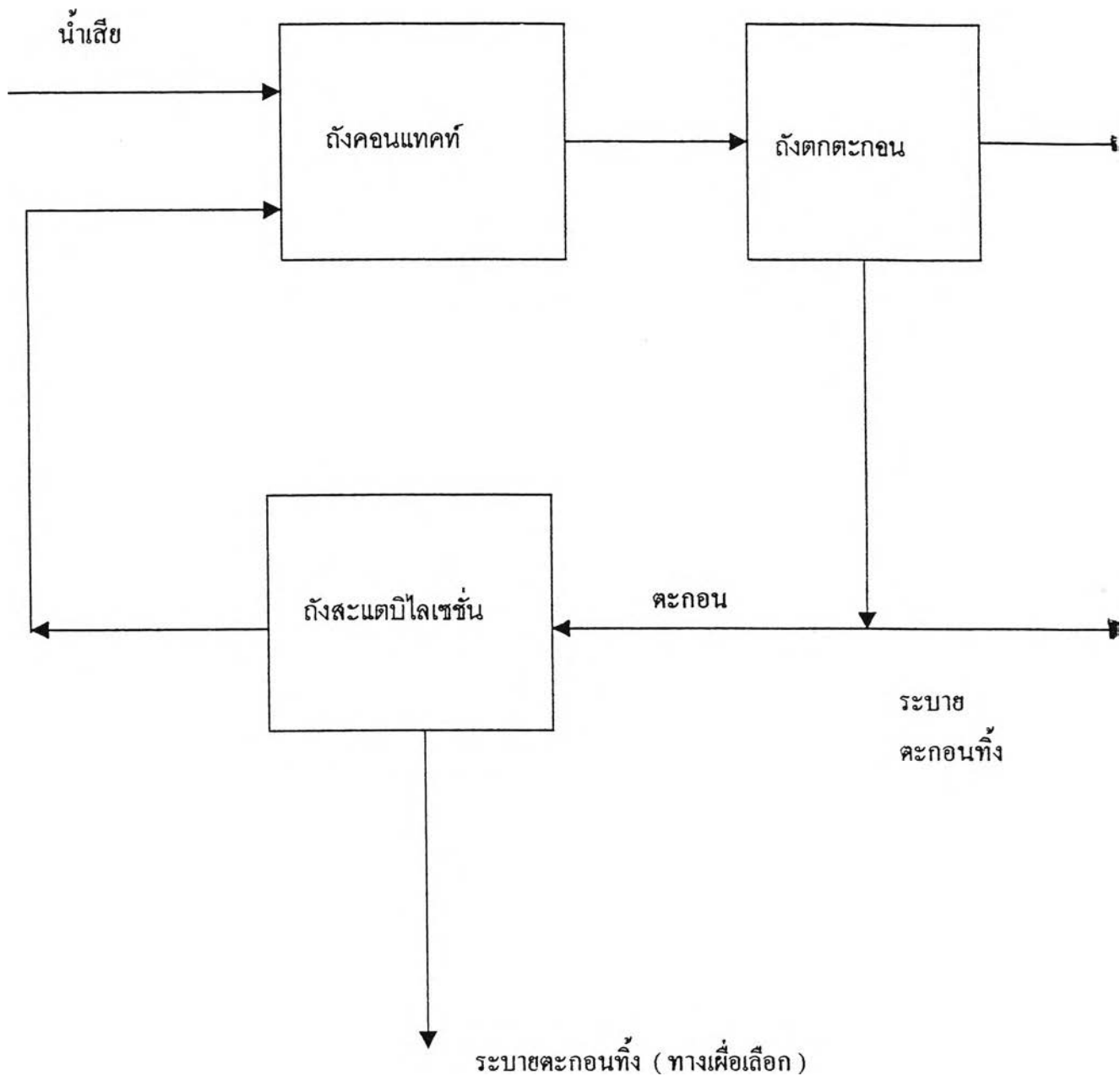
ระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์แบบหมักในตัวที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทยมี 2 ชนิด คือแบบธรรมดา และแบบคววนเวียน ซึ่งเป็นแบบที่มีถังเดิมอากาศสร้างเป็นคูล์น้ำลึกสามารถ 1.2-1.5 เมตร และมักจะใช้เครื่องเติมอากาศแบบโรเตอร์ ซึ่งคล้ายระหัดวิดน้ำระบบคววนเวียนได้รับความนิยมมากในประเทศไทยเนื่องจากเครื่องเติมอากาศสามารถสร้างได้ง่าย และมีราคาไม่แพง และเนื่องจากถังเดิมอากาศสามารถสร้างโดยการก่ออิฐได้จึงช่วยประหยัดค่าก่อสร้างได้

3. Contact Stabilization Activated Sludge (CSAS)

ระบบ CSAS เป็นระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์ได้พัฒนาให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์แบบอื่นที่มีขนาดถังเท่ากัน ส่วนประกอบของระบบ CSAS ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าระบบ CSAS มีถังเดิมอากาศ 2 ใบ ได้แก่ถังคอนแทคส์ (Contact Tank) และถังสแตบิลไลเซชัน (Stabilization Tank) น้ำเสียและตะกอนหมุนเวียนจะถูกส่งเข้าถังเดิมอากาศใบแรก หรือถังคอนแทคส์ ซึ่งมีเวลากักน้ำต่ำประมาณ 1-2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความสกปรก และสร้างเซลล์จุลินทรีย์เพิ่มขึ้น จากนั้นน้ำตะกอนก็จะไหลไปยังถังตะกอน เพื่อแยกน้ำที่บำบัดแล้วทิ้งออกไปจากระบบ และแยกได้ตะกอนเข้มข้นที่กักถังตกตะกอน ตะกอนเข้มข้นนี้ ส่วนหนึ่งจะถูกระบายทิ้ง เพื่อควบคุมระดับ SRT ของระบบและตะกอนอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่ง

- ไปยังดั้งเดิมอากาศใบที่สอง หรือถังสแตบิลไลเซชัน ซึ่งมีเวลากักน้ำประมาณ 4-8 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการหมัก หรือย่อยสลายตัวเองของตะกอนจุลินทรีย์ จากนั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในสภาพหิวโหยนี้ ก็จะถูกส่งหมุนเวียนกลับไปที่ถังคอนแทคต์ และกำจัดความสกปรกในน้ำเสียได้อย่างรวดเร็ว อนึ่งการระบายตะกอนทิ้ง อาจระบายออกที่ถังสแตบิลไลเซชัน ก็ได้



รูปที่ 2.2 แผนผังของระบบ CSAS

2.1.5 โมเดลทางจลศาสตร์ขั้นพื้นฐาน

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เป็นผลมาจากการทำลายความสกปรกที่เป็นสารอินทรีย์ เพราะจุลินทรีย์ใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโต ด้วยเหตุนี้อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (dX/Xdt) จึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการทำลายสารอินทรีย์ (dS/Xdt) ซึ่งเป็นความสกปรกหรือ BOD ในน้ำเสีย ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำลายความสกปรก (dS/Xdt) กับปริมาณความสกปรกหรือบีโอดี (S) แสดงได้ด้วย สมการที่คิดค้นมาจากสมการของโมนอค ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับสมการของ Michaelis Menten ที่ใช้อธิบายจลศาสตร์ของเอนไซม์

$$q = \frac{dS}{Xdt} = \frac{q_m S}{K_s + S} \quad \text{---(2.1)}$$

q = อัตราจำเพาะของการทำลายบีโอดี เพื่อใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ มีค่าเท่ากับ ความเข้มข้นบีโอดีที่ถูกทำลายต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยความเข้มข้นของจุลินทรีย์ เวลา⁻¹

q_m = อัตราสูงสุดที่จะเป็นไปได้ของ q

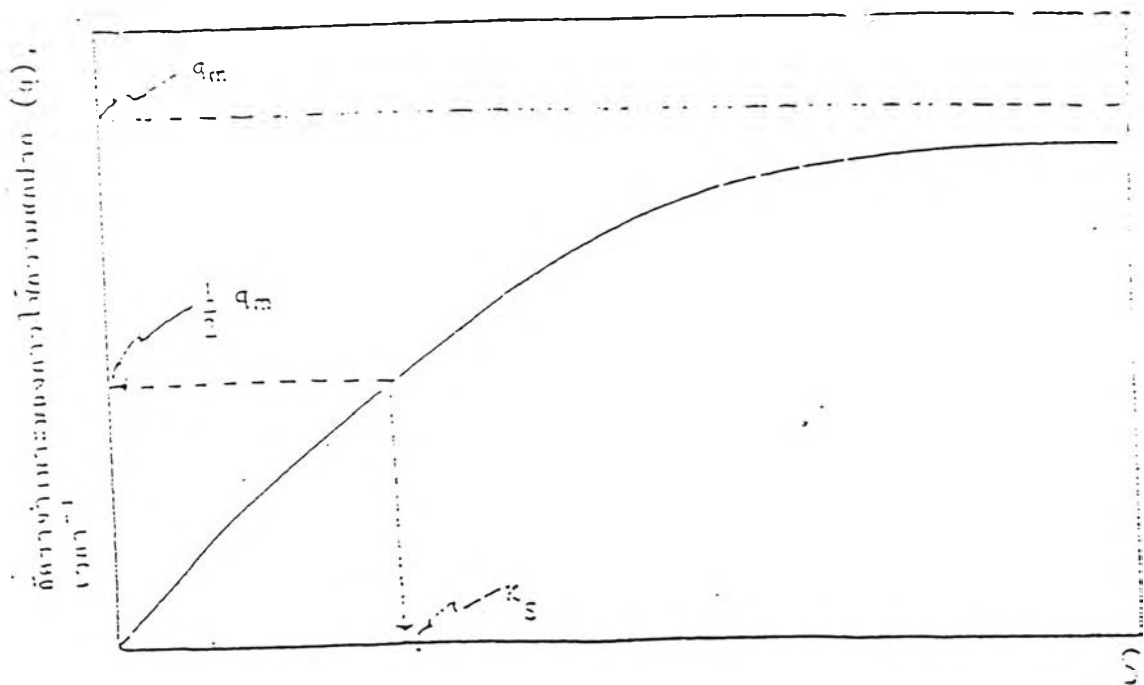
S = ความเข้มข้นของบีโอดี, มก./ล.

X = ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์, มก./ล.

K_s = สัมประสิทธิ์ ครึ่งอัตราเร็ว (Half Velocity Coefficient) มีค่าเท่ากับความเข้มข้นของบีโอดี (S)

เมื่อ $q = 0.5 q_m$, มก./ล.

ความสัมพันธ์ระหว่าง q กับ S แสดงไว้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง q และ S

อัตราสุทธิของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เป็นผลต่างระหว่างอัตราการสร้างเซลล์ กับอัตราการย่อยสลายตัวเอง แสดงได้ด้วยสมการ ดังนี้

$$u = \frac{dX}{Xdt} = Yq - b \quad \text{---(2.2)}$$

u = อัตราสุทธิ ของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ มีค่าเท่ากับความเร็วเพิ่มขึ้นต่อหน่วยความเข้มข้นของจุลินทรีย์ต่อหน่วยเวลา, เวลา⁻¹

Y = สัมประสิทธิ์ของการเจริญเติบโตหรือยิลด์ (Yield) มีค่าเท่ากับมวลจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อมวลปิไอดีที่ถูกกำจัด หรือใช้ไปโดยจุลินทรีย์, มวลต่อมวล (ไม่มีหน่วย)

b = อัตราการตายและการย่อยสลายตัวเองของจุลินทรีย์, เวลา⁻¹

Y หรือสัมประสิทธิ์ ของการเจริญเติบโต เป็นพารามิเตอร์ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกำจัดปิไอดี และอัตราการเพิ่มหรือเติบโตของจุลินทรีย์ ดังนี้

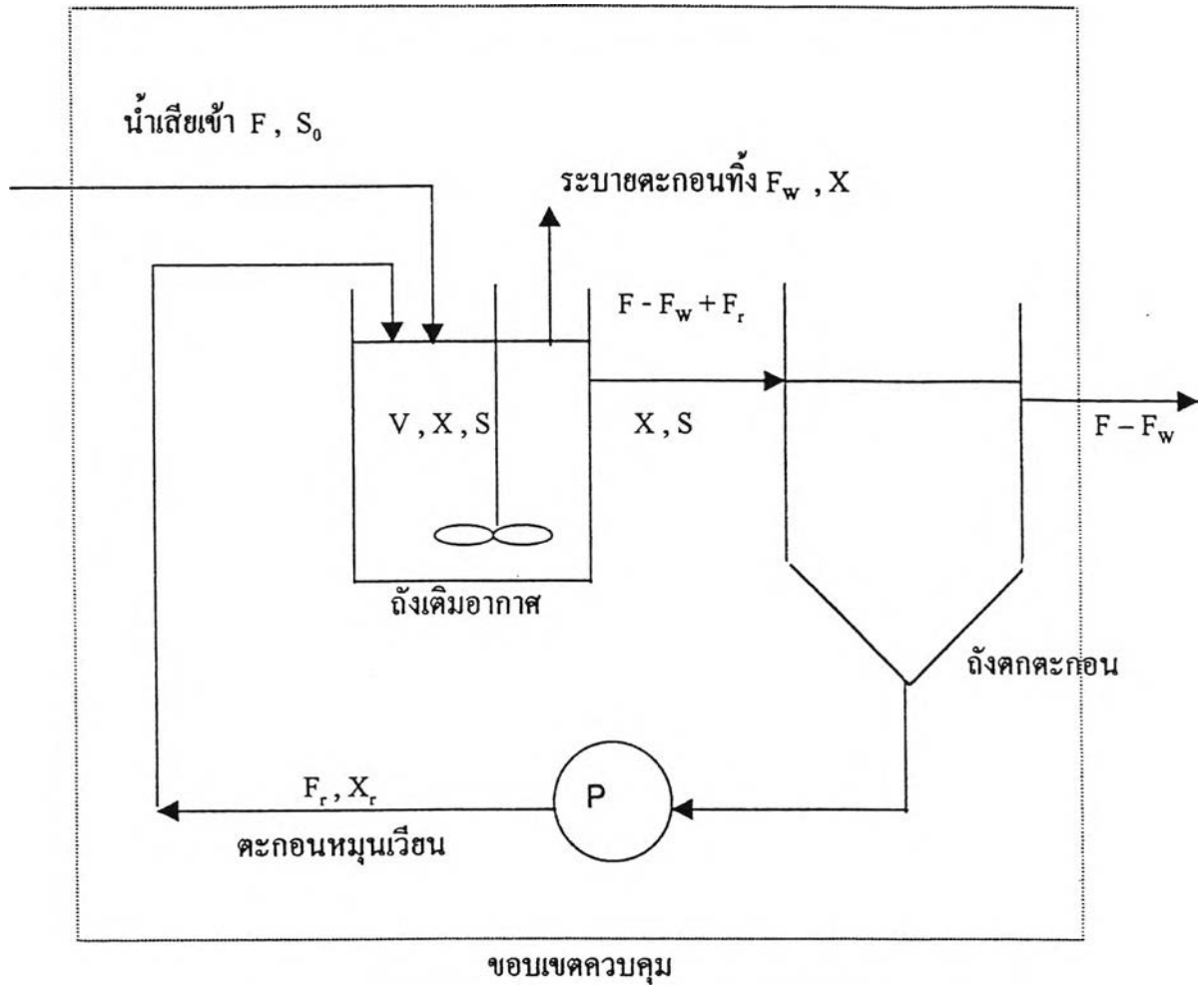
$$Y = \frac{dx/dt}{ds/dt} = \frac{dx}{ds} \quad \text{---(2.3)}$$

สมการที่ (2.1), (2.2) และ (2.3) เป็นสมการที่ใช้อธิบายถึงการกำจัดปิไอดี และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังเดิมอากาศที่มีการเลี้ยงจุลินทรีย์ด้วยน้ำเสีย แต่อย่างไรก็ตามถังเดิมอากาศที่มีความแตกต่างทางจุลศาสตร์ จะมีรายละเอียดทางจุลศาสตร์ที่แตกต่างกัน

ระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์โดยทั่วไปเป็นถังกวนสมบูรณ์ที่มีการหมุนเวียนตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 สามารถเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ให้อยู่ในถังเดิมอากาศได้นานกว่าเวลากักน้ำเวลากักน้ำ และเวลากักตะกอนสามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$\text{เวลากักน้ำ}(\theta) = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่อยู่ในถัง}}{\text{อัตราการไหลของน้ำออกจากถัง}} = V/F \quad \text{---(2.4)}$$

$$\text{เวลากักตะกอน(SRT)} = \frac{\text{ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังเดิมอากาศ}}{\text{อัตราการระบายตะกอนออกจากถัง}} \quad \text{---(2.5)}$$



รูปที่ 2.4 สัญลักษณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณจลนศาสตร์ของถังกวนผสมที่มีการหมุนเวียนตะกอน

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าการระบายตะกอนจุลินทรีย์สามารถทำได้ 2 ทาง คือ ทางก้นถังตกตะกอน หรือทางถังเติมอากาศ ในกรณีการระบายตะกอนทิ้งทางก้นถังตกตะกอนจะเห็นได้ว่า SRT หรือ θ_c มีค่าเท่ากับ

$$\theta_c = \frac{VX}{F_w X + (F - F_w) X_c} \quad \text{---(2.6)}$$

โดยที่

- V = ปริมาตรของถังเติมอากาศหรือถังเติมอากาศ
- X = ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์
- F = อัตราการไหลเข้าของน้ำ

$$\begin{aligned}
 F_w &= \text{อัตราการระเหยระคายตะกอนทิ้ง} \\
 X_r &= \text{ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกส่งกลับคืนมาเข้ากับถังเดิมอากาศ} \\
 X_0 &= \text{ความเข้มข้นของตะกอนในน้ำออก}
 \end{aligned}$$

ในกรณีที่ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ X_c จะมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ X ดังนั้น สมการที่ (2.6) จึงอาจแทนได้ด้วยสมการใหม่ดังนี้

$$\theta_c = \frac{VX}{F_w X} \quad \text{---(2.7)}$$

ในกรณีนี้จะมีการระเหยตะกอนทิ้งทางถังเดิมอากาศ สมการที่ (2.7) จะกลายเป็น

$$\theta_c = \frac{V}{F_w} \quad \text{---(2.8)}$$

สำหรับถังกวนผสมที่มีกวนเวียนตะกอน สามารถเขียนสมการแสดงสมดุลของมวลจุลินทรีย์ได้ดังนี้

$$\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงมวลจุลินทรีย์} = \text{อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์} - \text{อัตราการตายของจุลินทรีย์}$$

หรือ

$$\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงมวลจุลินทรีย์} = \text{อัตราของมวลจุลินทรีย์ที่เข้าสู่ถังปฏิกรณ์} + \text{อัตราการเกิดสุทธิของมวลจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์} - \text{อัตราของมวลจุลินทรีย์ที่ออกจากถังปฏิกรณ์}$$

นั่นคือ

$$V(dX/dt) = QX_0 + [(Y_{\max} \cdot UX - bX)V] - [Q_w X + (Q - Q_w)X_c] \quad \text{---(2.9)}$$

ภายใต้การควบคุมให้ระบบอยู่ในสภาวะคงที่ ($dX/dt = 0$) และสมมติว่าไม่มีจุลินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ ($X_0 = 0$) สมการที่ 2.9 สามารถเขียนได้เป็น

$$1/SRT = 1/\theta_c = Y_{\max} \cdot U - b \quad \text{---(2.10)}$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 1/SRT = 1/\theta_c &= \text{อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์} \quad , \text{ เวลา}^{-1} \\
 Y_{\max} &= \text{สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตสูงสุดของจุลินทรีย์} \quad , \text{ น้ำหนัก/น้ำหนัก} \\
 &= \text{อัตราส่วนระหว่างอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดของจุลินทรีย์ ซึ่งไม่รวมการย่อยสลายตัวของเซลล์ต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์} \quad , \text{ น้ำหนัก/น้ำหนัก}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U &= \text{อัตราการใช้สารอาหารจำเพาะ} \quad , \text{เวลา}^{-1} \\
 b &= \text{สัมประสิทธิ์การสลายตัวของจุลินทรีย์} \quad , \text{เวลา}^{-1} \\
 \text{โดย } U &= Q(S_0 - S) / VX \quad \text{---(2.11)}
 \end{aligned}$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 V &= \text{ปริมาตรถังปฏิกรณ์} \quad , \text{ปริมาตร} \\
 Q &= \text{อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าถังปฏิกรณ์} \quad , \text{ปริมาตร/เวลา} \\
 X &= \text{ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์} \quad , \text{น้ำหนักร/ปริมาตร} \\
 S_0 &= \text{ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ} \quad , \text{น้ำหนักร/ปริมาตร} \\
 S &= \text{ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ} \quad , \text{น้ำหนักร/ปริมาตร}
 \end{aligned}$$

$$\text{และ } Y_{\text{obs}} = Y_{\text{max}} / (1 + b/\theta_c) \quad \text{---(2.12)}$$

$$Y_{\text{obs}} = (1/U)(1/\theta_c) \quad \text{---(2.13)}$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{obs}} &= \text{สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตปรากฏของจุลินทรีย์} \quad , \text{น้ำหนักร/น้ำหนักร} \\
 &= \text{อัตราส่วนระหว่างอัตราการเจริญเติบโตปรากฏซึ่งรวมการย่อยสลาย} \\
 &\quad \text{ของเซลล์ด้วยต่ออัตราส่วนการย่อยสลายสารอินทรีย์} \quad , \text{น้ำหนักร/น้ำหนักร}
 \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพในการบำบัดแสดงโดยสมการ

$$E = 100 (S_0 - S) / S_0 \quad \text{---(2.14)}$$

เมื่อ

$$E = \text{ประสิทธิภาพการกำจัด} \quad , \text{เปอร์เซ็นต์}$$

2.1.6 พารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบแอกติเวตเตดสลัดจ์

ระบบแอกติเวตเตดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed Activated Sludge, CMAS) ที่มีการหมุนเวียนตะกอน มีพารามิเตอร์สำคัญที่ต้องพิจารณา ดังนี้คือ

1. เวลาที่กักตะกอนจุลินทรีย์ (Solid Retention Time, SRT)

เวลาที่กักตะกอนจุลินทรีย์ หมายถึงเวลาที่ตะกอนจุลินทรีย์ถูกเก็บอยู่ในระบบ สามารถคำนวณได้โดย

$$\text{เวลาที่กักตะกอน (SRT)} = \frac{\text{ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังปฏิกรณ์}}{\text{อัตราการระบายตะกอนออกจากระบบ}} \quad \text{---(2.15)}$$

เวลาที่กักตะกอน (SRT) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดในการออกแบบและควบคุมระบบ CMAS ทั้งนี้เนื่องจากค่า SRT มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ตัวอื่นๆ เช่น Mixed Liquor

Suspended Solid (MLSS) ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสีย อัตราการระบายน้สกอนทิ้ง อัตราการหมุนเวียนตะกอน อัตราความต้องการออกซิเจน ฯลฯ นอกจากนี้ SRT ยังมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติในด้านการตกตะกอนให้ได้น้ำใส และการอัดตัวของตะกอน ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวทเตดสลัดจ์โดยทั่วไปมี SRT ประมาณ 3-15 วัน ถ้าระดับ SRT ต่ำกว่า 3 วันจะเกิดการเจริญเติบโตแบบเชลล์โคค (Dispersed Growth) จุลินทรีย์จะไม่รวมตัวเป็นฟล็อก (Floc) ทำให้น้ำทิ้งมีตะกอน จุลินทรีย์ปะปนออกไปมาก และอีกทั้งทำให้ตะกอนไม่สามารถอัดตัวได้แน่น ถ้าระดับ SRT สูงกว่า 15 วัน จะเกิดฟล็อกปลายเข็ม (Pin Point Floc) ซึ่งจะปะปนออกไปกับน้ำทิ้งสุดท้ายได้มากทำให้น้ำทิ้งขุ่น และถ้าระดับ SRT สูง 20-30 วัน ตะกอนจุลินทรีย์จะเกิดการย่อยสลายตัวเอง ทำให้มีตะกอนเหลือน้อย ส่วนความสกปรก หรือบีเอส ที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้ง จะขึ้นกับอิทธิพลของระดับ SRT แต่ในช่วงที่ระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์ที่มี SRT ระหว่าง 3-15 วัน จะสามารถบำบัดให้มีความสกปรก (BOD) ในน้ำทิ้งค่าตามที่ต้องการเสมอ และมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ดังนั้นการเลือกระดับของ SRT จึงมีจุดประสงค์เพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอนได้ดี และถ้ามีระดับ SRT สูงขึ้น จะมีการระบายน้สกอนจุลินทรีย์ที่น้อยลง ระบบ EAAS ซึ่งมีระดับ SRT สูงคือมีค่า SRT ระหว่าง 20-30 วัน จะลดปริมาณตะกอนที่ต้องระบายทิ้งให้เหลือน้อย แต่คุณสมบัติด้านการตกตะกอนและการอัดตัวของตะกอนจุลินทรีย์จะไม่ดี นอกจากนี้เมื่อระดับ SRT สูงขึ้นจะทำให้มีอัตราความต้องการออกซิเจน , ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS) และอัตราการหมุนเวียนตะกอน สูงขึ้น นอกจากนี้ระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์ที่มี SRT สูงจะมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล และความเข้มข้นของน้ำเสียในระยะสั้น ได้ดีกว่าระบบที่มี SRT ต่ำ

การควบคุมการทำงานของระบบ ควรรักษาระดับ SRT ให้คงที่ตลอดเวลาแม้ในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ สามารถทำได้โดยการควบคุมอัตราการระบายน้สกอนทิ้ง

2. Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS)

MLSS หมายถึงตะกอนแขวนลอยทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำภายในถังเดิมอากาศ ซึ่งประกอบด้วยตะกอนจุลินทรีย์และตะกอนอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ ความเข้มข้นของ MLSS จะแสดงถึงปริมาณแบคทีเรียที่อยู่ในน้ำเสีย ถ้าระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์ออกแบบให้มีระดับ MLSS ค่าจะมีความเข้มข้นแบคทีเรียน้อยต้องใช้ถังเดิมอากาศขนาดใหญ่ และใช้พลังงานในการกวนและถ่ายเทออกซิเจนสูง แต่ถ้าออกแบบให้มีระดับ MLSS สูงตะกอนแบคทีเรียจะอยู่อย่างหนาแน่นกว่าจึงใช้ถังเดิมอากาศที่มีขนาดเล็กกว่า แต่อาจจะต้องใช้ถังตกตะกอนขนาดใหญ่ขึ้นระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์โดยทั่วไปหรือ CAS จะมีค่าความเข้มข้น MLSS น้อยกว่า 3000 มก./ล. ส่วนระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์แบบหมักในตัวหรือ EAAS มีความเข้มข้น MLSS ระหว่าง 3000-5000 มก./ล. ในการควบคุมระบบไม่ควรที่จะควบคุม MLSS ให้คงที่เพราะถ้าหาก MLSS มีค่าคงที่ ในขณะที่น้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลและความสกปรกจะทำให้อัตราส่วน

ระหว่างอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการควบคุมการทำงานของระบบควบคุม SRT ให้คงที่จะเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่า

3. F/M Ratio

F/M Ratio หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความสกปรกหรืออาหารต่อจำนวนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ F/M Ratio นี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบและควบคุมระบบแอคติเวทเตดสลัดจ์ได้ ถ้าออกแบบระบบแอคติเวทเตดสลัดจ์ให้มี F/M ต่ำ ดังนั้นจะมีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์หรือ MLSS ในถังเติมอากาศมาก และมี SRT สูงในทางตรงกันข้ามถ้าหากออกแบบให้ระบบมี F/M สูงก็จะมีระดับ MLSS และ SRT ต่ำ โดยทั่วไประบบแอคติเวทเตดสลัดจ์แบบ CAS จะมี F/M ประมาณ 0.3-0.5 ส่วน EAAS มีค่า F/M ต่ำกว่าคือประมาณ 0.05-0.1

4. อัตราส่วนการหมุนเวียนตะกอนกลับคืน (Recycle Ratio, α)

อัตราส่วนการหมุนเวียนตะกอนกลับคืน หมายถึงอัตราส่วนระหว่างอัตราการสูบตะกอนจากถังถังตกตะกอนหมุนเวียน กลับคืน ไปยังถังเติมอากาศต่ออัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย และเพื่อรักษาระดับ MLSS ให้เหมาะสม อัตราการหมุนเวียนตะกอนกลับคืนนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตะกอนที่ถังตกตะกอน ถ้าตะกอนนี้มีความเข้มข้นสูงก็จะมีอัตราหมุนเวียนตะกอนกลับคืนต่ำ แต่ถ้าตะกอนมีความเข้มข้นต่ำก็จะต้องมีอัตราการหมุนเวียนตะกอนสูง การเปลี่ยนแปลงอัตราการหมุนเวียนตะกอนนี้ไม่มีผลโดยตรงต่อขนาดของถังตกตะกอน ถ้าใช้อัตราการหมุนเวียนตะกอนสูงต้องใช้ระบบหมุนเวียนตะกอนที่ใหญ่ขึ้นในการควบคุมระบบควรรักษาระดับอัตราการหมุนเวียนตะกอนให้คงที่ แม้น้ำเสียจะเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณ หรือความเข้มข้น

5. อัตราการระบายตะกอนทิ้ง (Fw)

อัตราการระบายตะกอนทิ้ง เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบให้มีระดับ SRT ตามที่ต้องการ ระบบที่มีระดับ SRT สูงจะมีการระบายตะกอนทิ้งน้อย ส่วนระบบที่มีระดับ SRT ต่ำ ต้องระบายตะกอนทิ้งมาก

2.1.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบแอคติเวทเตดสลัดจ์

ระบบแอคติเวทเตดสลัดจ์จะทำงาน ได้ดีต้องมีปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะสม 4 ประการ ดังนี้

1. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำหรือดีไอ (DO) ระบบแอคติเวทเตดสลัดจ์จะทำงาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ น้ำในถังเติมอากาศ ต้องมีออกซิเจนอย่างเพียงพอ เพื่อให้จุลินทรีย์ใช้ในการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตขยายพันธุ์ ภายในถังเติมอากาศควรมี DO ประมาณ 0.5-2.0 มก./ล. ถ้า DO ต่ำกว่า 0.5 มก./ล. จะทำให้โปรโตซัวตาย น้ำทั้งขุ่น และทำให้แบคทีเรียเส้นใยเพิ่มจำนวนมากขึ้น แต่ถ้ามี DO มากเกินไป จะเป็นการสูญเสียพลังงานในการเติมอากาศโดยเปล่าประโยชน์

2. อาหารเสริม จุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริมที่สำคัญได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุอื่นๆ อีกเช่น เหล็ก โปแตสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ปกติแร่ธาตุเหล่านี้จะมีอยู่ครบใน

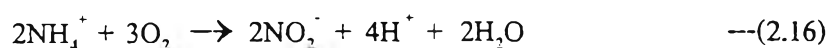
น้ำเสียชุมชน ถ้าขาดสารอาหารเหล่านี้ จะทำให้เกิดจุลินทรีย์ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งไม่สามารถตกตะกอนได้ เป็นผลให้น้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วมีลักษณะขุ่น และยังเป็นโอกาสให้จุลินทรีย์ชนิดเส้นใยเจริญเติบโตได้คือว่าจุลินทรีย์สร้างฟล็อกซึ่งเป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดโรคจมตัวไม่ลงของตะกอน (Sludge Bulking) อีกทั้งยังทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการทำงานต่ำลง ระบบแอกซิเวทเคตสแต็คจ์โดยทั่วไปต้องการน้ำเสียที่มีอัตราส่วนระหว่าง BOD:N:P ประมาณ 100:5:1

3. พีเอช แบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับพีเอชระหว่าง 6.5 ถึง 8.5 ถ้าพีเอชในถังเดิมอากาศมีค่าต่ำกว่า 6 เป็นเวลานาน จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียลดลง ทั้งนี้เพราะการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเกิดขึ้นได้ไม่เต็มที่ อีกทั้งยังเปิดโอกาสให้จุลินทรีย์ชนิดเส้นใยเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ได้จึงเกิดโรคจมตัวไม่ลงของตะกอนได้ แต่ถ้า pH สูงกว่า 8.5 แบคทีเรียจะมีความสามารถในการทำลายบีโอดีได้ช้าลง

4. อุณหภูมิ อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราการถ่ายเทออกซิเจนของน้ำและการเผาผลาญอาหารของแบคทีเรีย อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิจนถึงระดับประมาณ 37 °C ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นไปอีกจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้น้อยลงอย่างรวดเร็ว และถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปแบคทีเรียก็จะตายหมด

2.1.8 ไนตริฟิเคชัน

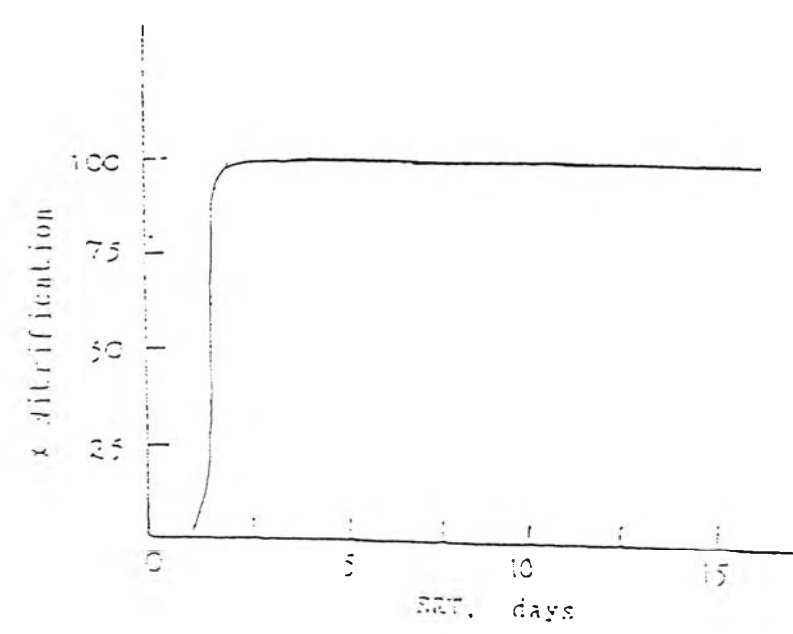
ไนโตรเจนที่พบในน้ำเสียมียู่ 4 ชนิด คือ สารอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen) , แอมโมเนีย (NH₃) , ไนไตรต์ (Nitrite) และ ไนเตรต (Nitrate) โดยเริ่มจาก สารอินทรีย์ไนโตรเจน ในน้ำเสีย จะถูกย่อยสลายให้กลายเป็นแอมโมเนียโดยปฏิกิริยา Ammonification จากนั้นแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกกำจัดได้ 2 ทางคือ ถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นสารอาหารเพื่อการสร้างเซลล์ และถูกเปลี่ยนเป็น ไนไตรต์ และ ไนเตรต โดยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) สามารถแสดงได้ตามสมการต่อไปนี้



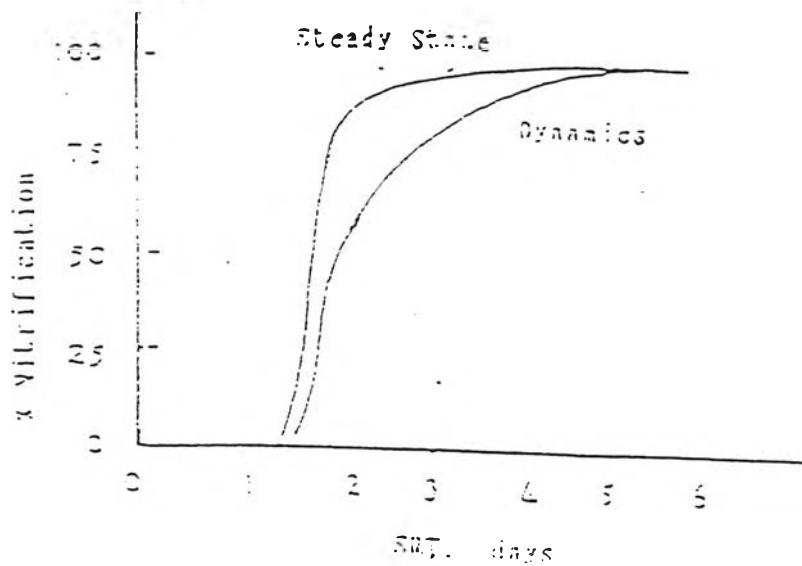
ไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifying Bacteria) ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทั้งสองนี้ ได้แก่ ไนโตรเจนโซโมนาส (Nitrosomonas) และไนโตรแบคเตอร์ (Nitrobacter) ตามลำดับ จากปฏิกิริยาจะเห็นได้ว่าไฮโดรเจนไอออน (H⁺) ซึ่งทำให้น้ำเสียมีสภาพเป็นกรดจึงต้องการสภาพค่า (Alkalinity) เพื่อสร้างสภาพความเป็นกลาง (Neutralization) ให้แก่น้ำเสีย โดยแอมโมเนีย 1 กรัม ต้องการสภาพค่าในรูปไบคาร์บอเนต (HCO₃⁻) ถึง 8.64 กรัม ถ้าหากน้ำเสียมียุ Buffer Capacity ไม่เพียงพอก็จะทำให้เกิด pH ต่ำในถังเดิมอากาศ ซึ่งเมื่อ pH ต่ำอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจะลดลง ดังนั้นในการควบคุมการทำงานของระบบควรรักษาระดับของ pH ให้เหมาะสมคือประมาณ 7.2

M.E. S salvador ได้ศึกษาพบว่า ถ้าสภาพกรดมีค่าลดลงต่ำกว่า 20 มก./ล แล้วแสดงว่า Buffer Capacity ของน้ำเสียกำลังจะหมด

ไนโตรฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้ในดั้งเดิมอากาศของระบบแอกซิเวตเสดสลักจ์ พร้อมกับ การกำจัดสารอินทรีย์ โดยการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียให้กลายเป็นไนเตรดหรือการเกิดไนโตรฟิเคชันจะเกิดขึ้นอยู่กับ SRT ดังแสดงในรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าการเกิดไนโตรฟิเคชันในระบบแอกซิเวตเสดสลักจ์ภายใต้สภาวะคงที่จะเป็นแบบสมบูรณ์หรือไม่เกิดเลย ไนโตรฟิเคชันจะเกิดได้เกือบ 100% หรือไม่ก็ถูก washout ออกจากถังไปเลย ส่วนอิทธิพลของ SRT ต่อผลการทำงานในสภาวะที่ไม่คงที่ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าที่ SRT ค่าอัตราการเกิดไนโตรฟิเคชันในสภาวะไม่คงที่ จะต่ำกว่าในสภาวะคงที่ และไนโตรฟิเคชันสมบูรณ์เกิดขึ้นได้ต้องมี SRT นานกว่าในกรณีของสภาวะคงที่ โอกาสอีกอย่างหนึ่งซึ่งไม่อำนวยให้เกิดปรากฏการณ์ของไนโตรฟิเคชันแบบเกิดอย่างสมบูรณ์หรือไม่เกิดเลยได้แก่ กรณีที่น้ำเสียมีความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงมากเกินไป ทำให้มีความเข้มข้นของไนไตรต์ และไนเตรตที่สร้างขึ้นมีแนวโน้มที่เกิดมากเกินไปจนสามารถยับยั้ง แบคทีเรียที่มีไนโตรฟิเคชันเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ แม้ว่าจะมี SRT สูงมากก็ตาม



รูปที่ 2.5 อิทธิพลของ θ_c ที่มีต่อปฏิกิริยาไนโตรฟิเคชันในถังกวนผสมที่มีการหมุนเวียนตะกอน และทำงานที่สภาวะคงที่

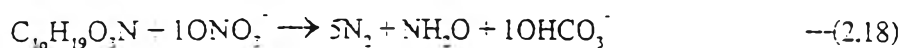


รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่สภาวะคงที่และสภาวะไดนามิกสัปดาห์ดังกล่าว สมบูรณ์ที่มีการหมุนเวียนตะกอน

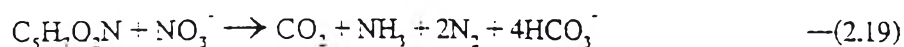
2.1.9 ดีไนตริฟิเคชัน

ไนเตรดที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจะถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซไนโตรเจนหนีขึ้นสู่อากาศโดยอาศัยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ในกรณีนี้ไนเตรดเป็นสารรับอิเล็กตรอน และมีสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นตัวให้อิเล็กตรอน ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันอาจแบ่งเป็น 2 ประเภทได้ตามชนิดของคาร์บอน ดังนี้

1. Substrate nitrate denitrification จุลินทรีย์จะใช้แหล่งคาร์บอนจากภายนอกเซลล์ เช่น บีโอดีที่อยู่ในน้ำเสีย และได้ออกซิเจนจากไนเตรด และเกิดการเจริญเติบโตของเซลล์จุลินทรีย์ ซึ่งแสดงสมการได้ ดังนี้



2. Endogeneous nitrate denitrification เป็นการย่อยสลายตัวเองของจุลินทรีย์โดยใช้แหล่งคาร์บอนภายในเซลล์ และได้ออกซิเจนจากไนเตรด แสดงสมการได้ ดังนี้



จากสมการทั้งสองจะเห็นว่ามีไบคาร์บอเนต เกิดขึ้นในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ทำให้น้ำเสียมีสภาพด่าง (Alkalinity) เพิ่มขึ้นโดยในการกำจัดไนเตรด 1 กรัม ให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจน จะได้สภาพด่างในรูปไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) 3.5 กรัม จึงทำให้ pH ของน้ำเสียมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันนี้ เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาการลอยตัวของน้ำของตะกอนในถังคกตะกอน เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนที่ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำจะพาตะกอนให้ลอยขึ้นมาด้วย และอาจทำให้มีตะกอนปะปนออกไปกับน้ำทิ้งได้ จึงทำน้ำทิ้งมีความสกปรก และตะกอนแขวนลอยสูง และถ้าหากมี

ตะกอนปะปนออกไปกับน้ำทิ้งมาก อาจทำให้ SRT มีค่าต่ำได้ ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นได้ดีถ้าระดับของ DO ต่ำมาก และเข้าใกล้ศูนย์ นอกจากนี้ pH และอุณหภูมิยังมีผลต่อการเกิดดีไนตริฟิเคชันอีกด้วย ช่วง pH ที่เหมาะสมที่สุดคือ 7.0 ถึง 7.5 ถ้า pH สูงกว่า 8 หรือต่ำกว่า 6 อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจะลดลง ส่วนอุณหภูมินั้นถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 15°C จะส่งผลกระทบต่อให้อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันลดลง ได้มากกว่ากรณีที่อุณหภูมิสูงกว่า 15°C

2.1.10 ปัญหาเกี่ยวกับการตกตะกอนของระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์

ในระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์ที่มีประสิทธิภาพสูง ตะกอนแขวนลอยในถังเติมอากาศควรมีสีน้ำตาลเข้ม และจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนซึ่งสามารถตกตะกอนได้รวดเร็ว และได้น้ำทิ้งที่ผ่านการตกตะกอนแล้วจะมีลักษณะใส การตกตะกอนที่ดีจะพบว่าค่า V_{30} ควรอยู่ในช่วง 200-800 มล. และค่า SVI หรือ Sludge Volume Index ควรอยู่ในช่วง 75-200 นอกจากนี้ถ้าตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบด้วยว่า แบคทีเรียจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ ส่วนการตกตะกอนอย่างมีปัญหาก็จะเกิดขึ้นถ้าสภาวะในถังเติมอากาศไม่เหมาะสม ตะกอนไม่อาจจมตัวได้อย่างปกติ ทำให้น้ำทิ้งที่ออกจากถังตะกอนมีตะกอนแขวนลอยออกไปมาก เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียลดลงไป ซึ่งปัญหาเกี่ยวกับการตกตะกอนต่างๆ ได้แก่

1. การตกตะกอนของเซลล์ที่มีอายุน้อย

ในระบบแอกติเวทเตดสลัดจ์ที่มีระดับ SRT ต่ำ หรือระบบที่เริ่มเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในถังเติมอากาศจะมีอายุน้อยเกินไปจึงไม่จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน และแขวนลอยอยู่ในน้ำโดยไม่ตกตะกอนจึงได้น้ำทิ้งขุ่น เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์จะไม่พบโปรโตซัวเลย การแก้ปัญหาทำได้โดยเพิ่ม SRT ให้มีระดับไม่น้อยกว่า 5 วัน

2. การตกตะกอนของแบคทีเรียที่ไม่สมบูรณ์

แบคทีเรียที่มีสภาพไม่สมบูรณ์แม้ว่าจะมีอายุเพียงพอแล้ว อาจเกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่น ได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ ได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอ และพีเอชในถังเติมอากาศมีค่าต่ำเกินไป แบคทีเรียที่ไม่สมบูรณ์นี้จะไม่สามารถตกตะกอนได้หมด แม้ว่าตะกอนส่วนใหญ่จะจมตัวได้ก็ตาม จึงทำให้น้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วมีลักษณะขุ่น การแก้ไขทำได้โดยรักษาสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

3. การตกตะกอนแบบปกติแต่มีตะกอนในภายหลัง

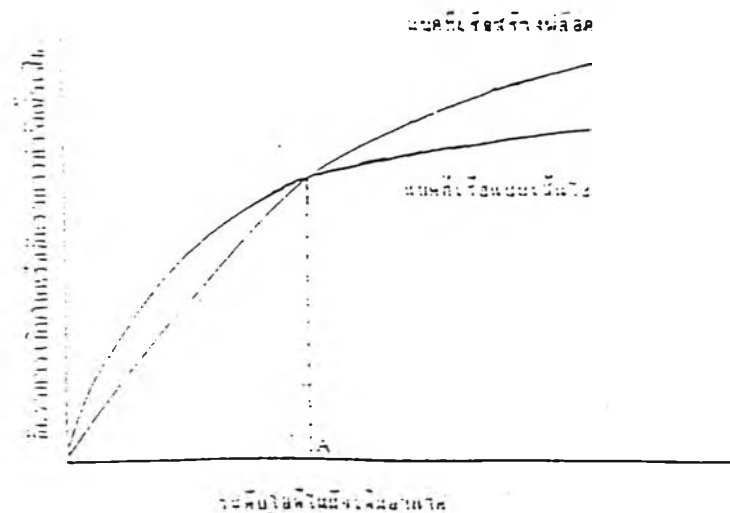
ปัญหาตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำของถังตกตะกอน มักเกิดขึ้นกับน้ำเสียที่มีไนโตรเจนสูง เนื่องจากไนเตรดที่เกิดขึ้นกับปฏิกริยาไนตริฟิเคชันในถังเติมอากาศ ได้ถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซไนโตรเจน โดยปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันในถังตกตะกอน ก๊าซไนโตรเจนจะลอยขึ้นสู่ข้างบน และพาตะกอนให้ลอยตัวขึ้นปกคลุมผิวน้ำของถังตกตะกอน อาจมีตะกอนบางส่วนหลุด

ออกไปกับน้ำทิ้งได้ น้ำทิ้งจึงมีคุณภาพต่ำ การแก้ไขอาจทำได้โดยเพิ่มอัตราการหมุนเวียนตะกอน เพิ่มดีไอในถังเติมอากาศ และวิธีป้องกันที่ดีที่สุดคือ ควบคุมให้มี SRT ไม่เกิน 5-7 วัน

4. โรคจมน้ำไม่ลงของตะกอน (Sludge Bulking)

ในระบบแอกซิเวตเสดสแตจจ์ที่เป็นโรคจมน้ำไม่ลงของตะกอน การตกตะกอนในถังตกตะกอนจะเกิดขึ้นได้ช้ามาก จนตะกอนไม่สามารถแยกออกจากน้ำได้หมด และจะได้น้ำทิ้งขุ่น ในระบบแอกซิเวตเสดสแตจจ์ที่มีการตกตะกอนเป็นปกติ ควรจะมี SVI ประมาณ 75 - 200 ถ้าหาก SVI มีค่าต่ำกว่า 75 มักจะเป็นการตกตะกอนของเซลล์อิสระ ซึ่งสามารถตกตะกอนได้เร็วแต่จะได้น้ำทิ้งขุ่น สำหรับระบบแอกซิเวตเสดสแตจจ์ที่เป็นโรคจมน้ำไม่ลงของตะกอน จะมี SVI สูงกว่า 200 เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบว่าแบคทีเรียเส้นใยเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ตะกอนที่เป็นโรคจมน้ำไม่ลง V_{30} จะมีค่าสูง ซึ่งถ้ารุนแรงมากจน V_{30} มีค่าสูงถึง 980 หรือ 990 มล. จะทำให้ตะกอนสะสมตัวสูงขึ้น จนล้นออกจากถังตกตะกอนพร้อมกับน้ำทิ้ง น้ำทิ้งจึงมีความสกปรกสูงขึ้น อีกทั้งการสูญเสียตะกอนออกไปกับน้ำทิ้ง จะทำให้ระดับ MLSS ในถังเติมอากาศมีค่าลดลง ถ้าหากการสูญเสียตะกอนเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง อาจทำให้เหลือตะกอนในถังเติมอากาศน้อยมาก จนกระทั่งระบบไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โรคจมน้ำไม่ลงของตะกอนในระบบแอกซิเวตเสดสแตจจ์ เกิดขึ้นเนื่องจากมีแบคทีเรียพวกเส้นใยเป็นจำนวนมากแบคทีเรียพวกเส้นใยสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียชนิดสร้างฟล็อกเกิดขึ้นได้ทั้งในถังเติมอากาศที่มีสถานะแวดล้อมเป็นปกติ และผิดปกติ ในสถานะแวดล้อมที่เป็นปกติ แบคทีเรียพวกเส้นใยจะเจริญเติบโตได้ดี เมื่อมีระดับอาหารในถังเติมอากาศต่ำ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.7 จากกราฟอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย กับระดับอาหารในถังเติมอากาศ ซึ่งได้มาจากสมการของโมโนด จะเห็นว่าเมื่อระดับอาหารในถังเติมอากาศมีค่าน้อยกว่า A แบคทีเรียเส้นใยจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียชนิดสร้างฟล็อก แต่เมื่อระดับอาหารสูงกว่า A



รูปที่ 2.7 อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกับระดับสารอาหารในถังเติมอากาศ ซึ่งได้มาจากสมการของโมโนด

แบคทีเรียสร้างฟลอคจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียชนิดเส้นใย ดังนั้นระบบแอกติเวทเตดสแตจจ์ที่ทำงานได้ดี สามารถบำบัดน้ำเสียให้มีบีโอดีต่ำได้ จึงมีโอกาที่จะเกิดโรคจมตัวไม่ลงของตะกอนได้ ส่วนสภาวะแวดล้อมที่ผิดปกติ ซึ่งสนับสนุนให้แบคทีเรียพวกเส้นใยเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างฟลอคจนทำให้เกิดโรคจมตัวไม่ลงของตะกอน ได้แก่ น้ำเสียมีพีเอชต่ำ น้ำเสียที่มี N และ P น้อยเกินไป น้ำเสียที่ขาดแร่ธาตุบางชนิด น้ำเสียที่มีแอมโมเนียและน้ำตาล ถึงเต็มอากาศบีโอดี และพีเอชต่ำ ออร์แกนิกโหลดสูงเกินไป หรือต่ำเกินไป และอุณหภูมิต่ำเกินไป

D.M.D. Gabb Et.al พบว่าการเกิดโรคจมตัวไม่ลงของตะกอนที่พบในแบบจำลองจะเป็นแบคทีเรียเส้นใยชนิด *Sphaerotilus Natans* ซึ่งเป็นชนิดที่ไม่พบในระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป โดยแบคทีเรียเส้นใยชนิดนี้ ถูกเพาะเลี้ยงให้เกิดขึ้นได้ดี จาก *S.Natans* ที่เจริญเติบโตเกาะอยู่บนผิวของท่อส่งน้ำเข้าระบบ และเกาะบนพื้นผิวของถังเติมอากาศ ซึ่งอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของระบบของแบบจำลองจะมีค่าสูงกว่าระบบบำบัดน้ำเสียจริงมาก จึงพบเกิดโรคจมตัวไม่ลงของตะกอนจาก *S.Natans* ได้มากกว่า

การแก้ปัญหาโรคจมตัวไม่ลงของตะกอนสามารถทำได้โดยป้องกันมิให้แบคทีเรียเส้นใยเกิดขึ้น โดยรักษาสภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วให้เหมาะสม เพื่อให้แบคทีเรียสร้างฟลอคเจริญเติบโตได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังจะต้องรักษาระดับบีโอดีในถังเติมอากาศ มิให้ต่ำเกินไป จนแบคทีเรียเส้นใยเจริญเติบโตได้ดี แต่ในขณะเดียวกันต้องได้น้ำทิ้งที่มีบีโอดีต่ำ ซึ่งการรักษาระดับบีโอดีนี้ สามารถทำได้ 3 วิธีคือ

1. การใช้ถังคัดพันธุ์ หรือถัง Selector ตามวิธีของ Chudoba วิธีนี้ใช้ถังเติมอากาศหลายใบต่อกันอย่างอนุกรม ถังใบแรกเรียกว่าถังคัดพันธุ์แบคทีเรีย ถังนี้ต้องออกแบบให้รับออร์แกนิกโหลดสูงมาก เพื่อให้แบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคได้รับอาหารทั้งหมด และเจริญเติบโตจนเป็นแบคทีเรียหลัก แบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคที่เติบโตในถังคัดพันธุ์จะถูกส่งไปยังถังใบอื่นๆ ทำให้ทั้งระบบมีแต่แบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคที่เติบโตในถังคัดพันธุ์จะถูกส่งไปยังถังใบอื่นๆ ทำให้ทั้งระบบมีแต่แบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคเป็นส่วนใหญ่ ถังเติมอากาศใบต่อไปสามารถออกแบบให้รับออร์แกนิกโหลดระดับปกติ ซึ่งมี F/M ไม่เกิน 0.3

2. ใช้ถังเติมอากาศแบบปลั๊กโฟล (Plug Flow) มีหลักการเช่นเดียวกับวิธีแรก นั่นคือพยายามให้บริเวณต้นถังได้รับน้ำเสียมากจนมีระดับอาหารที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคและถูกส่งต่อไปยังทำถังจนถึงจนกระทั่งเป็นแบคทีเรียหลักของระบบ

3. วิธีป้อนน้ำเสียแก่ถังเติมอากาศเป็นช่วงๆ อย่างไม่ต่อเนื่องลักษณะเช่นนี้ทำให้ถังเติมอากาศมีระดับอาหารสูงในขณะที่เริ่มป้อนน้ำเสีย แบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคซึ่งมีความสามารถแย่งอาหารได้รวดเร็วกว่าเมื่อมีอาหารอยู่ในระดับสูงจะเติบโตได้ดีกว่า แต่วิธีนี้ไม่สามารถควบคุมให้มีระดับบีโอดีสูงได้อย่างต่อเนื่อง และจัดเป็นวิธีที่ไม่แน่นอน บางครั้งก็ได้ผลบางครั้งก็ไม่ได้ผล จึงเป็นวิธีที่ไม่น่าเชื่อถือ

2.2 การกรอง

ระบบกรองน้ำแรกเริ่มเดิมทีถูกนำมาใช้ในงานประปาเท่านั้น ต่อมาในปี ค.ศ. 1949 มีการนำเอาระบบกรองน้ำมาใช้ในการเพิ่มคุณภาพของน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดขั้นที่สองแล้ว (Effluent) โดยใช้กรองน้ำทิ้งที่ไหลออกจากถังตกตะกอนที่สอง ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านระบบกรองน้ำแล้ว ไม่มีตะกอนแขวนลอยหลงเหลืออยู่ ทำให้สามารถลดค่าปริมาณตะกอนแขวนลอย (TSS) และค่า BOD₅ ลงได้มาก ประโยชน์ที่ได้นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิดที่ไม่สามารถแยกตะกอนออกจากน้ำทิ้งได้หมด หรือไม่สามารถทำให้น้ำทิ้งได้คุณภาพตามที่มาตรฐานกำหนด ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียเพื่อกำจัดหรือแยกสารฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสีย ก็สามารถนำระบบกรองน้ำช่วยแยกตะกอนเคมีที่เกิดขึ้นได้

การออกแบบและควบคุมระบบกรองน้ำ วิศวกรจำเป็นต้องเข้าใจทฤษฎีของการกรองน้ำ และเข้าใจถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบกรองน้ำ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบกรองน้ำ ได้แก่ ทฤษฎีของการกรองน้ำ ลักษณะการทำงานของระบบกรองน้ำ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียเท่านั้น

2.2.1 ทฤษฎีของการกรองน้ำ

ทฤษฎีของการกรองน้ำสามารถอธิบายได้เป็น 2 หัวข้อ ดังนี้

ก. ตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวกับระบบกรองน้ำ

ข. กลไกของการกรองน้ำ

ก. ตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวกับระบบกรองน้ำ

ระบบกรองน้ำที่วิศวกรเป็นผู้ออกแบบ จำเป็นต้องพิจารณาถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการกรองน้ำ ซึ่งได้สรุปไว้ดังนี้ :

- (1) ประจุของชั้นสารกรอง
- (2) ขนาด รูปร่าง และความหนาแน่นของสารกรอง
- (3) ความพรุน (Porosity) ของสารกรอง
- (4) ค่าสูญเสียความดัน (Headloss) เนื่องจากสารกรอง
- (5) ประสิทธิภาพของเครื่องกรองน้ำ
- (6) คุณลักษณะของน้ำที่ไหลเข้าสู่เครื่องกรองน้ำ เช่น ความแข็งแรงของตะกอนประจุในน้ำ ฯลฯ
- (7) อัตรากรองน้ำ
- (8) ความลึกของชั้นกรองสาร
- (9) ค่าสูญเสียความดันที่ขอมให้มีได้ในระบบกรองน้ำ

ตัวแปรต่างๆ เหล่านี้สามารถได้รับจากห้องปฏิบัติการ และข้อมูลจากวารสารทางวิชาการ ดังนั้นวิศวกรจำเป็นต้องทราบถึงวิธีการนำข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ มาทำการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ค่าตัวแปรต่างๆ สำหรับการออกแบบระบบกรองน้ำ

ข. กลไกของการกรองน้ำ

กลไกของการกรองน้ำคือ วิธีการเคลื่อนที่ของตะกอนต่างๆ ในน้ำผ่านเข้าไปหาสารกรอง และวิธีการจับตะกอนต่างๆ ในน้ำให้เกาะติดอยู่บนสารกรองรูปที่ 2.8 ได้แสดงการเคลื่อนที่ของตะกอนผ่านสารกรองในระบบกรองน้ำทั่วไป กลไกของการกรองน้ำมีอยู่ 3 กลไกด้วยกันคือ

(1) กลไกทางกายภาพ มี 4 แบบ คือ

- (1.1) Straining
- (1.2) การตกตะกอน (Sedimentation)
- (1.3) การเบียดเข้าหาสารกรอง (Interception)
- (1.4) Inertial impaction

(2) กลไกทางกายภาพและเคมี มี 4 แบบ คือ

- (2.1) การดูดติดผิวทางเคมี (Chemical adsorption)
- (2.2) การดูดติดผิวทางกายภาพ (Physical adsorption)
 - (2.2.1) Electrostatic forces
 - (2.2.2) Electrokinetic forces
 - (2.2.3) Van der Waals forces
- (2.3) แรงติดแน่น (Adhesion forces)
- (2.4) Coagulation - Flocculation

(3) กลไกทางชีวเคมี

จากกลไกของการกรองน้ำที่ได้สรุปไว้ข้างบน จะได้อธิบายเป็นข้อๆ อย่างย่อ ดังนี้

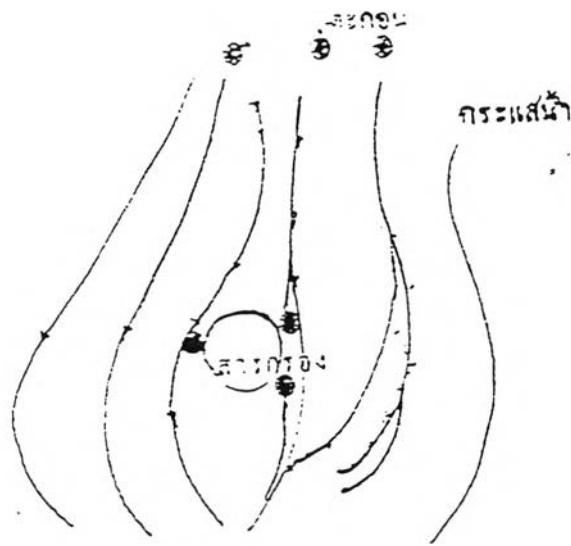
(1) กลไกทางกายภาพ กลไกของการกรองน้ำทางกายภาพ จะอาศัยหลักกลศาสตร์มาอธิบาย ซึ่งมีกลไกอยู่ 4 แบบดังนี้

(1.1) Straining คือ การติดค้างอยู่บนสารกรอง โดยจะติดค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างสารกรอง ซึ่งมี 2 แบบ ได้แก่ แบบที่มีขนาดของตะกอนใหญ่กว่าช่องว่างระหว่างสารกรอง และแบบที่มีขนาดของตะกอนเล็กกว่าช่องว่างระหว่างสารกรอง

(1.2) การตกตะกอน (Sedimentation) คือ ตะกอนได้ตกลงบนสารกรองภายในชั้นกรอง

(1.3) การเบียดเข้าหาสารกรอง (Interception) คือ ตะกอนได้เคลื่อนที่ไปในทิศทางแนวเดียวกับกระแส น้ำ และตะกอนเหล่านี้จะเคลื่อนที่ไปพบกับผิวของสารกรอง

(1.4) Inertial impaction คือ ตะกอนที่มีน้ำหนักมากเกินไปจนไม่สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางแนวเดียวกับกระแส น้ำ ดังนั้นตะกอนหนักเหล่านี้จะตกลงบนสารกรองเสียก่อน



รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของตะกอนผ่านสารกรองเม็ดเดียวในระบบกรองน้ำ

(2.) ทางกายภาพและเคมี กลไกของการกรองน้ำที่เกิดจากทั้งทางกายภาพและเคมี จะมีการทำงานได้ดีกว่ากลไกของการกรองน้ำที่เกิดจากทางกายภาพเพียงอย่างเดียว เพราะการกรองนี้เกิดขึ้นได้เกือบทั่วทั้งชั้นกรอง ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้สารกรองมีมาก กลไกของการกรองน้ำแบบนี้ต้องอาศัยหลักฟิสิกส์มาอธิบาย โดยสามารถแบ่งออกได้ 4 แบบ ดังนี้

(2.1) การดูดติดผิวทางเคมี (Chemical adsorption) คือ การดูดติดผิวที่อาศัยการยึดเหนี่ยวทางเคมี โดยจะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นในการดูดติดผิวระหว่าง ตะกอนกับสารกรอง การดูดติดผิวแบบนี้มีประสิทธิภาพสูงเมื่อมีอุณหภูมิสูง เพราะความที่เคเข้าใจว่าปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น

(2.2) การดูดติดผิวทางกายภาพ (Physical adsorption) คือ การดูดติดผิวที่อาศัยแรงต่างๆ ยึดเหนี่ยว ไม่ให้หลุดออกจากกันระหว่างตะกอนกับสารกรอง การดูดติดผิวแบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อมีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะตรงกันข้ามกับการดูดติดผิวทางเคมีสำหรับการดูดติดผิวทางกายภาพจะประกอบด้วยแรง 3 ลักษณะ ได้แก่ Electrostatic forces, Electrokinetic forces, และ Van der Waals forces

(2.2.1) Electrostatic forces คือ แรงที่เกิดขึ้นกับตะกอนที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งจะเกิดขึ้นบนสนามไฟฟ้าสถิต บริเวณสารกรอง

(2.2.2) Electrokinetic forces คือ แรงที่เกิดขึ้นกับตะกอนที่มีประจุไฟฟ้า โดยตะกอนนี้จะเคลื่อนที่บนสารกรองอยู่ตลอดเวลา

(2.2.3) Van der Waals forces คือ แรงดึงดูดระหว่างตะกอนกับสารกรอง ซึ่งจะไมเกาะติดบนผิวที่หนึ่งที่ใดโดยเฉพาะ แต่จะเกาะติดบนผิว โดยที่มีการเคลื่อนที่แบบอิสระ อยู่ตลอดเวลา (translational movement) แต่ต้องอยู่ในขอบเขตของวัตถุทั้งสอง

(2.3) แรงติดแน่น (Adhesion forces) คือ แรงติดแน่นให้ตะกอนประเภท Flocculant ติดแน่นกับผิวของสารกรองที่ตะกอนนี้ไหลผ่านมาพบ แต่เนื่องจากแรงเข้าน้ำที่เกิดจากการไหลของน้ำผ่านชั้นกรอง ได้เซาะพวกตะกอนบางส่วนก่อนที่ตะกอนส่วนนี้จะเกาะติดแน่นบนผิวสารกรอง ซึ่งทำให้น้ำได้ไหลพาตะกอนนี้เคลื่อนผ่านชั้นกรองลงไปลึกขึ้น จนอาจหลุดออกจากชั้นกรอง และไหลไปปนกับน้ำที่ผ่านระบบกรองน้ำแล้ว (Effluent) ซึ่งมีผลให้ Effluent มีปริมาณตะกอนมากขึ้น

(2.4) Coagulation - Flocculation คือ การเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งทำให้ตะกอนต่างๆ ในน้ำได้มีโอกาสเกาะตัวซึ่งกันและกัน ทำให้ตะกอนเหล่านี้มีขนาดใหญ่ขึ้น และจะมีผลให้เกิดการคัดตะกอนโดยสารกรองในชั้นกรองได้ ซึ่งจะอาศัยกลไกของการกรองน้ำแบบต่างๆ ได้แก่ Straining, Sedimentation, Interception, Inertial impaction และ Adhesion forces

(3) ทางชีวเคมี กลไกของการกรองน้ำที่เกิดจากทางชีวเคมี คือ พวกจุลินทรีย์ต่างๆ ได้เติบโตอยู่ภายในชั้นกรอง ซึ่งจะลดขนาดของช่องว่างที่อยู่ภายในชั้นกรอง และทำให้เกิดการคัดตะกอนโดยสารกรองในชั้นกรองได้ ซึ่งจะอาศัยกลไกของการกรองน้ำแบบต่างๆ ได้แก่ Straining, Sedimentation, Interception, Inertial impaction และ Adhesion forces

2.2.2 การวิเคราะห์ระบบกรองน้ำทั่วไป

การวิเคราะห์ระบบกรองน้ำจำเป็นต้องอาศัยคณิตศาสตร์ชั้นสูงในการวิเคราะห์ระบบกรองน้ำ เพื่อศึกษาการคัดตะกอนของเครื่องกรองน้ำ โดยอาศัยข้อมูลจากวารสารทางวิชาการในหัวข้อ "Filtration of Treated Sewage Effluent" โดย G. Tchobanoglous และ R. Eliassen , Journal Sanitary Engineering Division, ASCE, Vol 96. no. SA2. 1970 โดยการวิเคราะห์ระบบกรองน้ำได้อาศัยสมการของการต่อเนื่อง (Equation of continuity) และสมการของอัตราเปลี่ยนแปลง (Rate equation) เป็นเครื่องมือในการอธิบายระบบกรองน้ำ

สมการของการต่อเนื่อง (Equation of continuity)

ตั้งสมการสมดุลของมวลสารสำหรับน้ำที่มีตะกอนไหลผ่านชั้นกรองที่มีพื้นที่หน้าตัดของเครื่องกรองเท่ากับ A และความหนาของชั้นกรองเท่ากับ dx โดยความหนาของชั้นกรองถูกวัดในแนวทิศทางการไหล

อัตราสะสมของตะกอนภายในเครื่องกรอง

$$= \text{อัตราไหลเข้าของตะกอน} - \text{อัตราไหลออกของตะกอน} \quad \text{---(2.20)}$$

$$\left(\frac{\partial q}{\partial t} + \alpha \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} \right) dV = Qc - Q \left(c + \frac{\partial c}{\partial x} dx \right) \quad \text{---(2.21)}$$

ในเมื่อ :

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \text{การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตะกอนที่สะสมอยู่ในเครื่องกรอง}$$

ต่อหน่วยเวลา, มก. (ชม.³-นาท)

$$\alpha = \text{ความพรุนโดยเฉลี่ยของชั้นกรอง}$$

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} = \text{การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นโดยเฉลี่ยของตะกอนภายในช่องว่าง}$$

ระหว่างสารกรองต่อหน่วยเวลา, มก./ (ชม.³-นาท)

$$dV = \text{การเปลี่ยนแปลงของปริมาตร, ชม.³}$$

$$Q = \text{อัตราการกรองน้ำ, ลิตร/นาท}$$

$$c = \text{ความเข้มข้นของตะกอน, มก./ลิตร}$$

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \text{การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตะกอนในน้ำต่อความหนาของชั้นกรอง}$$

ใด ๆ, มก./ (ลิตร-ชม.)

$$\text{ให้ } Adx = dV \text{ และ } Av = Q$$

ในเมื่อ :

$$v = \text{อัตราการกรองน้ำ, ลิตร/ (ตร.ชม.-นาท)}$$

แทนค่า Adx และ Av ลงในสมการ (2.21) จะได้สมการ (2.22)

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \alpha \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} = -v \frac{\partial c}{\partial x} \quad \text{---(2.22)}$$

โดยที่น้ำขังอยู่ในชั้นกรองมีปริมาณที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณของน้ำที่ไหลเข้าออกของ

ระบบกรองน้ำ ดังนั้นค่า $\alpha \frac{\partial \bar{c}}{\partial t}$ จึงถูกตัดทิ้ง ได้สมการใหม่เป็นสมการ (2.23)

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -v \frac{\partial c}{\partial x} \quad \text{---(2.23)}$$

สมการของอัตราเปลี่ยนแปลง (Rate equation)

ถ้าต้องการแก้สมการ (2.23) จำเป็นต้องเปลี่ยนค่า $\frac{\partial q}{\partial t}$ และ $\frac{\partial c}{\partial x}$ เพื่อให้ได้ function ที่

หาได้ง่ายขึ้น

$$\frac{\partial q}{\partial t} = f(R_1, R_2, R_3, \dots) \quad \text{---(2.24)}$$

$$\frac{\partial c}{\partial x} = f(R_1, R_2, R_3, \dots) \quad \text{---(2.25)}$$

ในเมื่อ:

$R_1, R_2, R_3 =$ ตัวแปรใดๆ ที่เกี่ยวกับการกำจัดตะกอนออกจากน้ำโดยเครื่องกรอง

2.2.3 การวิเคราะห์ระบบกรองน้ำเสีย

สำหรับการวิเคราะห์ระบบกรองน้ำเสีย ซึ่งโดยมากจะเป็นน้ำเสียที่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นที่สองแล้ว (Effluent) และโดยมากจะมีค่า TSS ประมาณ 20-100 มก./ลิตร ซึ่งถ้าต้องการลดค่า TSS ลงให้เหลือน้อยกว่า 5 มก./ลิตร ก็สามารถกระทำได้โดยใช้เครื่องกรอง กรองตะกอนต่างๆ ออกจากน้ำ โดยกลไกของการกรองน้ำที่จะใช้ในการวิเคราะห์ระบบกรองน้ำคือ Straining เท่านั้น (โดยการตั้งข้อสมมุติฐาน) การวิเคราะห์ระบบกรองน้ำเสียได้อาศัยสมการของการต่อเนื่องและสมการของอัตราเปลี่ยนแปลง มาอธิบาย

สมการของการต่อเนื่อง

จากสมการ (2.23) สามารถเขียนใหม่ให้เป็นรูปของ Ordinary differential equation ได้ เพราะประสิทธิภาพในการกำจัดตะกอนภายในเครื่องกรองไม่แปรผันกับเวลา ดังนั้นสมการ (2.23) สามารถเขียนได้ใหม่เป็นสมการ (2.26)

$$\frac{dq}{dt} = -v \frac{dc}{dx} \quad \text{---(2.26)}$$

สมการของอัตราเปลี่ยนแปลง

อัตราเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นตะกอนในน้ำต่อความหนาของชั้นกรองจะแปรผันอย่างมีสัดส่วนกับประสิทธิภาพในการกำจัดตะกอนของเครื่องกรอง

เมื่อน้ำไหลเข้าสู่เครื่องกรอง โดยไหลผ่านชั้นกรองชั้นแรก ค่าความเป็นไปได้ในการกรองตะกอนออกจาก Effluent เท่ากับ P_1 ในชั้นกรองชั้นที่สอง ค่าความเป็นไปได้ในการกรองตะกอนออกจาก Effluent เท่ากับ P_2 โดยที่ P_2 จะมีค่าน้อยกว่า P_1 และจะเป็นเช่นเดียวกับชั้นกรองชั้นที่สาม ชั้นที่สี่..... ชั้นที่ n โดยมีค่า $P_3 < P_4 < \dots < P_n$

จากลักษณะของการกรองตะกอนในชั้นกรอง ณ ระดับลึกต่างๆ สามารถเขียนได้เป็นความสัมพันธ์ในเชิงคณิตศาสตร์ ดังแสดงในสมการ (2.27)

$$\frac{dc}{dx} = \frac{r_0 c}{(1+ax)^n} \quad \text{---(2.27)}$$

ในเมื่อ :

- c = ความเข้มข้นของตะกอน, มก./ลิตร
- x = ระยะลึกของชั้นกรอง, ซม.
- r_0 = อัตราการกรองตะกอนเมื่อเริ่มต้น, ซม.⁻¹
- a, n = ค่าคงที่ใดๆ

ถ้า $n = 0$ จะได้

$$\frac{dc}{dx} = r_0 c$$

$$\ln\left(\frac{c}{c_0}\right) = r_0 x \quad \text{---(2.28)}$$

ถ้า $n = 1$ จะได้

$$\frac{dc}{dx} = \frac{r_0 c}{(1+ax)} \quad \text{---(2.29)}$$

ค่า $1/(1+ax)$ จะตกลงอย่างรวดเร็ว เมื่อ x อยู่ในช่วง 12 ซม. แรก และเมื่อ x มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ค่า $1/(1+ax)$ จะค่อย ๆ ตกลงเรื่อย ๆ

สำหรับสารกรองที่อยู่ในชั้นกรองมีขนาดเท่ากันสม่ำเสมอ ค่าของ n ควรมีเท่ากับ 0 และค่า r_0 ควรมีลักษณะเป็นลำดับหนึ่ง

เพื่อการคำนวณหาค่าคงที่ a และ n ในสมการ (2.27) ได้ง่ายขึ้น สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็นสมการ (2.30) แล้วจึงใช้วิธี Trial-and-error คำนวณหาค่า a และ n ได้

$$\frac{(r_0 c)^{1/n}}{dc/dx} = 1+ax \quad \text{---(2.30)}$$

สมการ (2.30) เป็นสมการเส้นตรง เมื่อมีค่า n ที่เหมาะสม ดังนั้นต้องใช้วิธี Trial-and-error เพื่อหาค่า n ที่เหมาะสม และจะได้ค่า a ซึ่งคือความลาดของเส้นตรงนี้

เมื่อพิจารณาถึงมีตะกอนต่าง ๆ สะสมอยู่ในชั้นกรอง จำเป็นต้องเพิ่มตัวคูณลงในสมการ (2.27) จะได้สมการใหม่เป็นสมการ (2.31)

$$\frac{dc}{dx} = \frac{r_0 c}{(1+ax)^n} \left(1 - \frac{q}{q_u}\right)^m \quad \text{---(2.31)}$$

ในเมื่อ :

- q = ปริมาณของตะกอนสะสมอยู่ในชั้นกรอง
- q_u = ปริมาณสูงสุดของตะกอนสะสมไว้ในชั้นกรอง
- m = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของ filter

เมื่อไม่มีตะกอนสะสมอยู่ในชั้นกรอง (q = 0) จะได้ $(1 - q/q_u)^m$ เท่ากับ 1 ทำให้สมการ (2.31) กลายเป็นสมการ (2.27)

ถ้ามีตะกอนมากมายสะสมอยู่ในชั้นกรอง จะทำให้ค่า q/q_u มีเกือบเท่ากับ 1 ซึ่งทำให้ $(1 - q/q_u)^m$ มีค่าเกือบเท่ากับ 0 และทำให้ค่า $\frac{dc}{dx}$ เข้าใกล้ 0 เช่นกัน

2.2.4 ระบบการล้างสารกรองในชั้นกรอง

ระบบการล้างสารกรองในชั้นกรองมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ (1) ใช้น้ำล้างสารกรองเพียงอย่างเดียว (2) ใช้น้ำล้างสารกรองพร้อมกับมีระบบชะล้างสารกรองบริเวณผิวบนของชั้นกรองด้วย (3) ใช้น้ำล้างสารกรอง พร้อมกับมีระบบพ่นอากาศเพื่อช่วยในการขัดถูให้ตะกอนหลุดออกจากชั้นกรองได้ง่ายขึ้น (4) ใช้ระบบน้ำล้างร่วมกับพ่นอากาศ โดยตารางที่ 2.1 ได้แสดงค่าอัตราล้างสารกรองต่ำสุดสำหรับชั้นกรองชนิดต่างๆ

ตารางที่ 2.1 อัตราล้างสารกรองต่ำสุดที่ยอมรับได้สำหรับชั้นกรองชนิดต่างๆ

ชนิดของชั้นกรอง	ค่าอัตราล้างสารกรองต่ำสุดที่ยอมรับได้	
	ม. ³ /(ม. ² -นาที)	ม./ชม.
แบบหนึ่งชั้นกรอง (ทราย)	1.8 - 2.0	108 - 120
แบบสองชั้นกรอง (Anthracite และ ทราย)	0.8 - 1.2	48 - 72
แบบสามชั้นกรอง (Anthracite , ทราย และ Garnet หรือ Ilmenite)	0.8 - 1.2	48 - 72

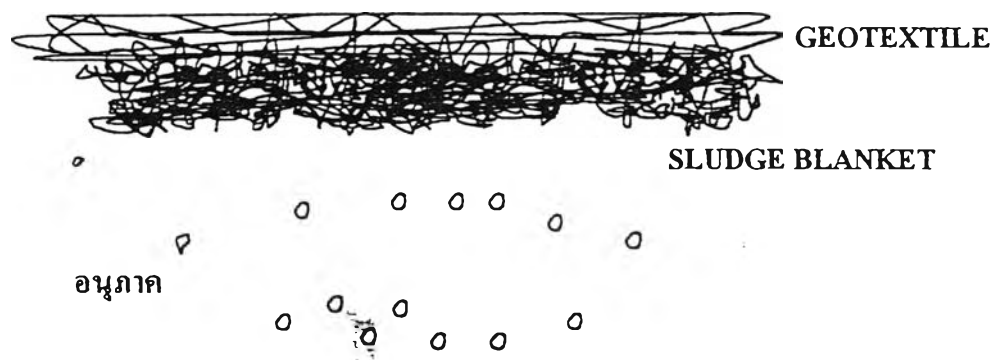
ระบบใช้น้ำล้างอย่างเดียว ระบบใช้น้ำล้างสารกรองเพียงอย่างเดียว คือพยายามทำให้สารกรองในชั้นกรองลอยกระจัดกระจายขึ้นมา เพื่อปล่อยโอกาสให้ตะกอนที่สะสมอยู่ในชั้นกรองหลุดลอยออกมาได้ โดยพยายามออกแบบให้ได้ค่าความพรุน (porosity) ของชั้นกรองขณะที่กำลังลอย กระจัดกระจายขึ้นมาประมาณ 0.68-0.71 สำหรับน้ำที่มาจากระบบบำบัดน้ำเสีย จะไม่นิยมใช้ระบบล้างสารกรองแบบนี้ เพราะจะไม่เพียงพอต่อการล้างสารกรอง จำเป็นต้องใช้ระบบอื่น ๆ เข้าช่วยในการล้างสารกรอง

ระบบใช้น้ำล้างสารกรองพร้อมทั้งมีระบบชะล้างสารกรองบริเวณผิวบนของชั้นกรอง ระบบนี้จะมีระบบชะล้างสารกรองบริเวณผิวบนของชั้นกรองเข้าช่วยด้วยอีกแรง เพื่อให้แน่ใจได้ว่าการล้างสารกรองเป็นไปตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงสามารถใช้ได้กับน้ำทิ้งที่มาจากระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป สำหรับการดำเนินการของระบบล้างสารกรองนี้คือ ทำการชะล้างผิวบนของชั้นกรองเสียก่อน ประมาณ 1 หรือ 2 นาที จากนั้นจึงทำการล้างสารกรองด้วยวิธีปกติคือ ให้ไหลย้อนผ่านชั้นกรองได้ อัตราการชะล้างผิวบนของสารกรองควรมีประมาณ 1.2-2.4 ลบ.ม/(ตร.ม.-ชม.)

ระบบใช้น้ำล้างสารกรองพร้อมทั้งมีระบบพ่นอากาศเพื่อช่วยในการขัดถู ระบบนี้จะมีการพ่นอากาศเพื่อขัดถูให้ตะกอนหลุดออกจากสารกรอง การดำเนินการระบบนี้คือ พ่นอากาศเข้าไปในชั้นกรองประมาณ 3-4 นาที ก่อนการล้างสารกรองด้วยวิธีปกติ โดยทั่วไปจะพ่นอากาศเข้าไปด้วยอัตราการพ่นอากาศ ประมาณ 10-16 ลบ.ม/(ตร.ม.-นาที)

ระบบน้ำล้างรวมกับพ่นอากาศ ระบบนี้ได้ใช้น้ำและอากาศพร้อมกันเข้าภายในชั้นกรองประมาณ 2-3 นาที หลังจากเสร็จสิ้นการล้างสารกรองด้วยวิธีนี้แล้วจำเป็นต้องทำการล้างสารกรองอีกครั้ง ประมาณ 2-3 นาที ด้วยน้ำ เพื่อไล่ฟองอากาศที่ยังหลงเหลืออยู่ภายในชั้นกรองให้ออกหมด

Sludge blanket คือการสะสมตัวของตะกอนเป็นชั้นบริเวณผิวหน้าของแผ่น geotextile ซึ่งช่วยในการป้องกันการหลุดลอยของตะกอนได้ โดยการกรองที่เกิดขึ้นในการทดลอง อาจเกิดเนื่องจากความสามารถของ geotextile เอง หรืออาจเกิดเนื่องจาก sludge blanket หรืออาจจะทั้งสองอย่างประกอบกัน



รูปที่ 2.9 การสะสมตัวของตะกอนเป็น Sludge blanket

2.3 Geotextile

Geotextile เป็นแผ่นพลาสติกชนิดหนึ่ง ซึ่งมีการนำมาใช้งานในลักษณะต่าง ๆ เช่น ป้องกันการอุดตันของ Underdrain , เป็นตัวแยกระหว่างดินกับทรายถม , เป็นวัสดุแยกระหว่างดินกับทราย , ระบายน้ำในอุโมงค์ , ระบายน้ำในดินถม , ในโครงสร้าง เช่น หลังกำแพง , ในถนน , จากผิวหน้า Slope , จากใต้คันดิน เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของ geotextile

รายการ	คุณสมบัติ	วิธีทดสอบ	หน่วย	สภาวะทดสอบ	ชนิดของ GEOTEXTILE				
					U-26P	U-40P	U-60P	U-70P	U-80P
	คุณสมบัติทางฟิสิกส์								
1	Weight	ASTM D3770	g/m		140	200	300	350	400
2	Thickness	ASTM D1777	mm	under 2kN/m ²	1.3	1.5	2.4	2.8	3.2
				under 200kN/m ²	0.6	0.6	1.1	1.3	1.5
	Mechanical Properties								
3	Tensile Strength	ASTM D4595	kN/m		6.6	12.2	17.8	20.7	23.6
	- Elongation at break		%		75/35	75/36	75/40	75/40	75/40
4	Grab Strength	ASTM D4632	N		600	770	1050	1200	1350
	- Elongation at break		%		95/55	95/55	90/55	90/55	80/55
5	CBR Puncture Resistance	DIN 54307	N		1650	2100	3000	3450	3900
6	Cone Penetration	B.8.OPOS 5)	mm		16	12	9	8	7
7	Trapezoidal Tear Strength	ASTM D4533	N		220	300	400	460	520
	Hydrolytic Properties								
8	Apparent Opening Size (O _{ps})	ASTM D4761	microns		230	180	140	120	100
9	Permeability (cross-plane)	ASTM 4481							
	- Permittivity		s ⁻¹	under 2kN/m	3.8	3.3	2.1	1.8	1.6
			s ⁻¹	under 200kN/m	1.2	0.8	0.6	0.5	0.6
	- Coefficient of Permeability		10 ⁻⁵ m/s	under 2kN/m	5	5	5	5	5
			10 ⁻³ m/s	under 200kN/m	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
	- Flow Rate		l/m ² s	under 2kN/m	355	300	195	170	150
		l/m ² s	under 200kN/m	110	85	55	45	45	
10	Permeability (in-plane)	ASTM D4715							
	- Transmissivity		10 ⁻⁵ m ² /s	under 2kN/m	1	1.2	1.8	2.2	2.6
	at hydraulic gradient 1		10 ⁻⁷ m ² /s	under 200 kN/m	5	8	1.1	1.3	1.5

ผลการศึกษาที่ผ่านมา

การศึกษาที่จะทดลอง ได้มีผู้ศึกษามาแล้วในลักษณะที่คล้ายกัน ดังนี้

Taro Urase Kazuo Yamamoto and Shinichiro Ohgaki พบว่าการใช้เมมเบรนสามารถกำจัดไวรัส และตะกอนจากระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์และสระได้ เมมเบรนที่มีขนาดรูเล็กกว่าจะกำจัดได้ดีกว่า ซึ่งสามารถกำจัดตะกอนจากสระและระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์ได้ถึง 99.5 - 99.9 เปอร์เซ็นต์

Joseph G. Jacangelo , E. Marco Aieta , Keith E. Carns , Edward W. Cummings , and Joel Mallevidlle พบว่าการใช้อุลตราฟิลเตรชันแบบเมมเบรนโดยใช้เส้นใยกรวง สามารถกำจัดพวกความขุ่น สารแขวนลอยและอนุภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

JL Bersillon , C. Anselme , J. Mallevalle และ F. Fiessinger พบว่าการใช้อุลตราฟิลเตรชันแบบเมมเบรน สามารถกำจัดความขุ่น ตะกอนต่าง ๆ ทำให้ได้น้ำที่มีคุณภาพดี

Arla และคณะ พบว่าการใช้อุลตราฟิลเตรชันแบบเมมเบรน กับน้ำเสียชุมชนสามารถลดของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) จาก 236 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ 0 มิลลิกรัม/ลิตร โดยใช้อัตราการกรองต่อหน่วยพื้นที่ (permeate flux) 25 ลิตร/ชั่วโมง/ตารางเมตร

Olesen and Haagensen พบว่าการใช้อุลตราฟิลเตรชันแบบแผ่น (plate and frame) สามารถลดของแข็งแขวนลอยจากปริมาณมากกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร ลงเหลือปริมาณน้อยกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร และลดความขุ่นจาก 30-50 เอ็นทิยู เหลือ 0.2-0.5 เอ็นทิยู โดยใช้ความดัน 3.1 บาร์ อัตราการกรอง 5900 ลิตร-ชั่วโมง อัตราการกรองต่อพื้นที่ 100 ลิตร/ชั่วโมง/ตารางเมตร

Jean-Michel Laine' และคณะ ได้ทดลองกรองน้ำผิวดินด้วยอุลตราฟิลเตรชัน ชนิดต่างๆ เพื่อศึกษาผลของการกำจัดความขุ่นอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) พบว่าสามารถกำจัด TOC ได้ 40% โดยไม่ขึ้นกับขนาดช่องว่างของเมมเบรน สำหรับความขุ่นถูกกำจัดได้มากกว่า 98%