บทที่ 3

การบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอย

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอยเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย หลักการของระบบนี้เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์ที่อยู่ในลักษณะแขวนลอยโดยจุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนสำหรับการสันดาปอาหารซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย

3.1 ประวัติความเป็นมาของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอย

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอย ได้วิวัฒนาการมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1912 โดย H.W. Clark (Warren, 1971) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำน้ำโสโครกให้สะอาดโดยผ่านน้ำโสโครกเข้าไปในถังเติมอากาศที่มีพวกจุลินทรีย์อยู่ จุลินทรีย์จะทำหน้าที่กำจัดน้ำโสโครกนั้น ต่อมา E. ARDEN และ W. Lokett ได้ร่วมมือกันทำการทดลองหาวิธีปรับปรุงระบบบำบัดแบบเติมโดยให้น้ำโสโครกผ่านไปในถังเติมอากาศที่มีจุลินทรีย์ และให้ตะกอนที่มีชีวิต (Active Activated Sludge) ตกตะกอนก่อนแล้วเอาตะกอนบางส่วนย้อนกลับ (Recycle) เข้ามายังระบบบำบัดอีก จะทำให้น้ำเมื่อผ่านการกำจัดแล้วมีความสะอาดยิ่งขึ้น

3.2 ลักษณะทั่วไปของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอย

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอยเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาที่น้ำเสียไหลเข้าออกจากระบบต่อเนื่องหรือเป็นครั้ง ๆ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอยมีแบบปลีกย่อยหลายแบบดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 แต่ทุกแบบมีหลักการเหมือนกันแตกต่างกันที่วิธีการสร้างสิ่งแวดล้อมให้กับแบคทีเรียในถังเติมอากาศ เช่น วิธีกระจายน้ำเสียและออกซิเจน ระยะเวลาที่แบคทีเรียถูกเก็บกักอยู่ในระบบ

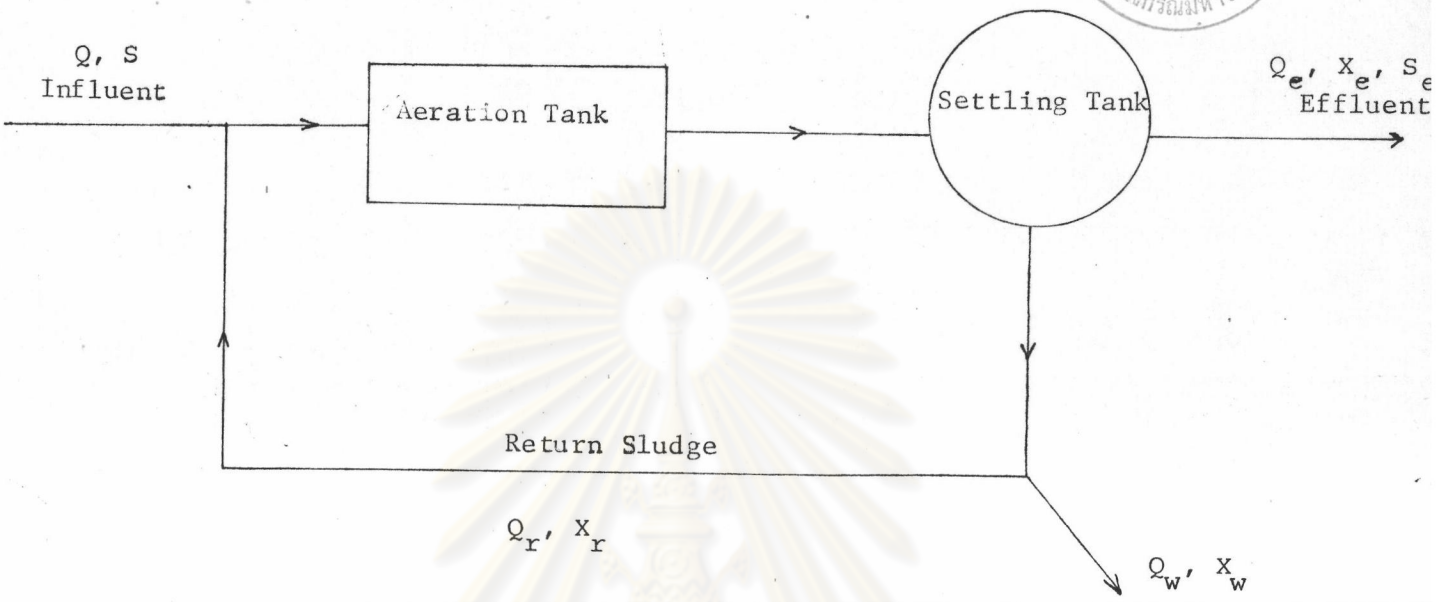
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอย มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ถังปฏิกริยา (Aeration tank) และถังตกตะกอน (Sedimentation tank) แผนผังหลักการของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอยแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ทำงานโดยอาศัยตะกอนจุลินทรีย์ที่เลี้ยงไว้นำกลับเข้ามาผสมกับน้ำเสียในถังเติมอากาศ ภายใต้สภาวะที่มีการกวนและเติมอากาศ เพื่อให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรีย และทำให้แบคทีเรียสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอนลงก้นถัง

ตารางที่ 3.1 รายชื่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอยประเภทต่าง ๆ

(Steward, 1971 ; Metcalf & Eddy, Inc, 1979)

1. Conventional Activated Sludge
2. Step Aeration Activated Sludge
3. Tapered Aeration Activated Sludge
4. Extened Aeration Activated Sludge
5. Contact Stabilization Activated Sludge
6. Pure Oxygen Activated Sludge
7. Completely Mixed Activated Sludge
8. Hatfield-Kraus System
9. Activated Aeration
10. Short Term Aeration
11. Aerated Lagoon

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงหลักการของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอย

นอกจากนี้ยังทำให้การสัมผัสระหว่างแบคทีเรียและน้ำเสียเกิดขึ้นได้อย่างทั่วถึง จุลินทรีย์จะขจัดของเสียในน้ำทิ้งและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศจะมีมากจนจับกันเป็นตะกอนชิ้นใหญ่ ๆ มีสีน้ำตาลเข้ม เรียกว่า Activated Sludge น้ำผสมระหว่างน้ำทิ้งกับตะกอนแบคทีเรียในถังเติมอากาศ เรียกว่า Mixed Liquor หลังจากให้เวลาเพียงพอสำหรับแบคทีเรียขจัดของเสียให้ลดความสกปรกลงแล้ว Mixed Liquor จะไหลจากถังเติมอากาศเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อให้แบคทีเรียตกตะกอน น้ำใสซึ่งสะอาดและมีค่า COD ต่ำ ที่อยู่ตอนบนก็จะถูกระบายจากถังตกตะกอน ส่วนตะกอนแบคทีเรียจะจมลงก้นถังตกตะกอน ตะกอนเหล่านี้จะถูกส่งกลับไปให้ถังเติมอากาศ เพื่อเป็นการรักษาความเข้มข้นของแบคทีเรียให้มีระดับพอเพียงสำหรับกำจัดน้ำเสียได้ทั้งหมด

3.3 <u>จุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอย</u>

ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอยโดยปกติจะพบจุลินทรีย์พวกแบคทีเรีย รา โปรโตซัว และโรติเฟอร์ บางครั้งก็อาจจะพบพวกนีมาโตด (Nematodes) ด้วย

การพิจารณาจุลชีพหลักที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอยนั้น อาจจะพิจารณาได้จาก คุณลักษณะของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ ข้อจำกัดทางสภาวะแวดล้อม การออกแบบระบบ และวิธีการดำเนินงาน

แบคทีเรีย เป็นจุลินทรีย์ที่พบมากที่สุดในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอยโดยเฉพาะแบคทีเรียพวก Zoogloea ramigera ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษในการสังเคราะห์พวก polysaccharide gel และทำให้เกิดการรวมตัวของฟลอค แต่ก็มีแบคทีเรียที่เป็นเส้นใยพวก Sphaerotilus spp ที่ทำให้เกิดการรวมตัวของฟลอคได้ไม่ดี

รา เป็นพวกที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอย ราจะเกิดขึ้นในสภาวะที่น้ำทิ้งที่ไหลเข้าสู่ระบบมีแป้งและน้ำตาลสูง และสภาพความเป็นกรด-ด่างต่ำ ราที่เกิดขึ้นส่วนมากจะเป็นพวกที่เป็นเส้นใย พวก Geotrichum ทำให้เกิดการรวมตัวของฟลอคได้ไม่ดี

โปรโตซัว โปรโตซัวเป็นพวกสัตว์ชั้นต่ำที่ต้องอาศัยอยู่ในน้ำที่มีออกซิเจน โปรโตซัวที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอยส่วนมากจะเป็นพวกซิลิเอต บางครั้งก็อาจจะพบพวกอมีบาและแฟลคเจลเลต (flagellates) โปรโตซัวจะกินแบคทีเรียที่อยู่อย่างอิสระ (free-swimming) ทำให้น้ำทิ้งในระบบกำจัดใสขึ้น และช่วยควบคุมจำนวนแบคทีเรียไม่ให้มีมากเกินไป

โรติเฟอร์ โรติเฟอร์จัดเป็นสัตว์หลายเซลที่มีลำดับสูง เป็นพวกที่ต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิต และสามารถย่อยพวกอนุภาคของฟลอค โรติเฟอร์มีความไวต่อสารพิษค่อนข้างสูง และเป็นตัวชี้ว่าระบบได้เข้าสู่สภาวะคงที่

3,4 สภาวะแวดล้อมในการดำรงชีวิตของจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอย

เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอยเป็นระบบที่ใช้จุลินทรีย์เป็นหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ระบบจะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพได้ก็ต่อเมื่อสภาวะแวดล้อมในระบบเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ กล่าวคือ

1. ปริมาณออกซิเจนในระบบจะต้องเพียงพอ ระบบจะใช้ออกซิเจนใน 2 ทาง คือ ใช้ในการเผาผลาญสารอินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงานในการนำไปสร้างเซลใหม่เพื่อการเจริญเติบโต และใช้ในการสลายตัวของแบคทีเรียส่วนหนึ่งในถังเติมอากาศ ความเข้มข้นของสารละลายออกซิเจนมีส่วนสำคัญในการเลือกชนิดของจุลินทรีย์ ปริมาณออกซิเจนในระบบจะต้องไม่ต่ำกว่า 0,5 มิลลิกรัมต่อลิตรตลอดเวลา ถ้าออกซิเจนต่ำกว่านี้จะทำให้โปรโตซัวตายน้ำทิ้งจะขุ่นและแบคทีเรียชนิดเป็นเส้นใยจะเพิ่มมากขึ้น ทำให้ตะกอนเกาะกันได้ยาก

007817

2. จะต้องมีอาหารเสริมสร้างพอเพียง ที่สำคัญได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอัตราส่วน COD : N:P = 100 : 5 : 1 นอกจากนี้ยังต้องมีแร่ธาตุอื่นอีก เช่น โปตัสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก โดยทั่วไป แร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ในน้ำทิ้งแล้วตามธรรมชาติอย่างพอเพียง ถ้าอาหารเสริมสร้างไม่พอเพียง จะมีผลกระทบกระเทือนต่อระบบนิเวศวิทยาในถังเติมอากาศ จุลินทรีย์อื่นที่ไม่ต้องการจะเกิดขึ้น เช่น การขาดไนโตรเจน ราจะเจริญเติบโตได้เร็วกว่าแบคทีเรียเพราะเซลของราต้องการไนโตรเจนน้อยกว่าเซลของแบคทีเรีย ราที่เกิดขึ้นเป็นเส้นยาวทำให้ตะกอนแบคทีเรียไม่เกาะกันและจมตัวได้ยาก ถ้าขาดฟอสฟอรัสก็จะเกิดผลเช่นเดียวกัน

3. ค่า pH จะต้องอยู่ในช่วง 6.5-9.0 ถ้า pH ต่ำกว่า 6.5 ราจะเจริญเติบโตแข่งขันกับแบคทีเรีย ถ้า pH สูงกว่า 9 แบคทีเรียจะทำลายความสกปรกในน้ำเสียได้ช้าลง

4. อุณหภูมิไม่ควรเกิน 40° ซ อัตราการทำลายความสกปรกในน้ำเสียจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิแต่จะลดลงถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป

3.5 <u>จลนศาสตร์ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอย</u>

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการอธิบายถึงระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอยประเภทกวนสมบูรณ์ กล่าวไว้โดย Sherrard et al.,(1973). Lawrence and McCarty (1970) อธิบายได้โดยสมการ ดังนี้

ระยะเวลาที่ตะกอนจุลินทรีย์ถูกเก็บกักอยู่ในระบบซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโตของจุลชีพ

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X_r + (Q - Q_w)X_e} \qquad \text{..... (3.1)}$$

θ_c = ระยะเวลาที่ตะกอนจุลินทรีย์ถูกเก็บกักอยู่ในระบบ

= $\frac{\text{ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังปฏิกริยา}}{\text{อัตราการระบายตะกอนจุลินทรีย์ทิ้งออกจากระบบ}}$

V = ปริมาตรถังปฏิกริยา, ปริมาตร

Q = อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าถังปฏิกริยา, ปริมาตร/เวลา

Q_w = อัตราการระบายตะกอนทิ้ง, ปริมาตร/เวลา

X = ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยา, น้ำหนัก/ปริมาตร

X_e = ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งที่ออกจากถังปฏิกริยา, น้ำหนัก/ปริมาตร

X_r = ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งที่หมุนเวียนกลับเข้าสู่ถังปฏิกริยา, น้ำหนัก/ปริมาตร

เมื่อทำสมดุลย์มวลของมวลจุลินทรีย์ในระบบ เขียนได้ดังนี้

อัตราการสะสมของจุลินทรีย์ในระบบ = อัตราการไหลของจุลินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ - อัตราการไหลออกของจุลินทรีย์ที่ออกจากระบบ + เซลของจุลินทรีย์ที่สร้างขึ้นใหม่ภายในระบบ

$$\frac{dx}{dt} \cdot V = QX_o - QX + V(r_g) \qquad \text{.....(3.2)}$$

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

r_g = อัตราการเจริญเติบโตสุทธิของจุลินทรีย์ มวล /ปริมาตร-เวลา

$$r_g = \frac{k XS}{k_s + S} - k_d X \qquad \text{.....(3.3)}$$

k = อัตราการใช้สารอาหารสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของจุลินทรีย์

จะได้ $$\frac{dx}{dt} \cdot V = QX_o - QX + V\left(\frac{k XS}{k_s + S} - k_d X\right) \qquad \text{.....(3.4)}$$

สมมติว่าไม่มีจุลชีพในสารละลายขาเข้า และที่สภาวะคงที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาเป็น 0

จะได้ $$\frac{Q}{V} = \frac{1}{\theta_c} = - Y_{max} \frac{r_{su}}{X} - k_d \qquad \text{.....(3.5)}$$

และ $$U = - \frac{r_{su}}{X} = \frac{Q(S_o - S)}{VX}$$

$$\frac{1}{\theta_c} = - Y_{max} U - k_d \qquad \text{.....(3.6)}$$

Y_{max} = สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตสูงสุดของจุลินทรีย์

U = อัตราการใช้สารอาหารจำเพาะ, เวลา$^{-1}$

k_d = สัมประสิทธิ์การสลายตัวของจุลินทรีย์, เวลา$^{-1}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$1/\theta_c$ = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์, เวลา$^{-1}$

ประสิทธิภาพในการบำบัดแสดงโดยสมการ

$$E = \frac{(S_o - S)}{S_o} \times 100 \quad \text{..... (3,7)}$$

E = ประสิทธิภาพการกำจัด, เปอร์เซนต์

S_o = ความเข้มข้นของสารในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ, น้ำหนัก/ปริมาตร

S = ความเข้มข้นของสารในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ, น้ำหนัก/ปริมาตร

และ $r_g = - Y_{obs}, r_{su}$ ..... (3,8)

Y_{obs} = อัตราการเจริญเติบโตปรากฏของจุลินทรีย์ ; น้ำหนัก/น้ำหนัก

$$Y_{obs} = - \frac{r_g}{r_{su}} \quad \text{..... (3,9)}$$

โดยการแทนสมการที่ (3,9) ลงในสมการที่ (3,6) จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$Y_{max} = \frac{Y_{max}}{1 + k_d\theta_c} \quad \text{..... (3,11)}$$

และ $$\frac{1}{Y_{obs}} = \frac{1}{Y_{max}} + \frac{k_d\theta_c}{Y_{max}} \quad \text{..... (3,12)}$$

ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินหาได้จาก

$$P_x = \frac{Y_{max} Q(S_o - S)}{1 + k_d\theta_c}$$

$$= \frac{VX}{\theta_c}$$

P_x = ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกิน ; มิลลิกรัม/วัน

3,6 ไนตริฟิเคชัน

ความต้องการของออกซิเจนของน้ำเสียนั้น ส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ในการออกซิเดชันแอมโมเนียให้เป็นไนเตรต โดย Autotrophic Bacteria พวก Nitrifying Bacteria ซึ่งได้แก่ Nitrosomonas spp. และ Nitrobactor spp.

สมการที่แสดงการออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์

$$2\ NH_4^+ \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} 2\ NO_2^- + 2H_2O + 4H^+ \quad \text{..... (3.8)}$$

สมการที่แสดงการเปลี่ยนไนไตรท์เป็นไนเตรต

$$2\ NO_2^- + O_2 \xrightarrow{\text{Nitrobactor}} 2NO_3^- \quad \text{..... (3.9)}$$

และสมการรวมของการเกิดไนตริฟิเคชั่น

$$NH_4^+ + 2O_2 \xrightarrow{\text{Nitrifiers}} NO_3^- + 2H^+ + H_2O \quad \text{..... (3.10)}$$

Nitrifying Bacteria จะได้รับพลังงานจากการออกซิไดซ์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไปเป็นไนไตรท์-ไนโตรเจน และเป็นไนเตรต-ไนโตรเจน พลังงานนี้จะถูกนำไปใช้ในการดูดซึมคาร์บอนให้เข้าสู่เซลล์ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์

สภาวะสำหรับการเจริญเติบโตที่เหมาะสมของ Nitrifying Bacteria ขึ้นกับสภาวะหลาย ๆ อย่าง เช่น pH, ออกซิเจนที่ละลายในน้ำเสีย, เวลาในการเก็บกักตะกอน, และอัตราส่วนระหว่าง BOD_5 : TKN

Lawrence และ McCarty 1970 ; Jenkins และ Garrison(1968), ได้เสนอว่า เวลาที่ตะกอนจุลินทรีย์ถูกเก็บกักอยู่ในระบบหรืออายุตะกอนสามารถใช้เป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบและควบคุมการเกิดไนตริฟิเคชันในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอย Lawrence และ McCarty (1970) ; เสนอข้อแนะนำว่าในการที่จะให้เกิดไนตริฟิเคชันได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สูงนั้น ค่าระยะเวลาที่ตะกอนจุลินทรีย์ถูกเก็บกักอยู่ในระบบสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอยจะต้องมากกว่าค่าระยะเวลาที่ตะกอนจุลินทรีย์ถูกเก็บกักในระบบต่ำสุดของจุลินทรีย์พวก Nitrifying ซึ่งสามารถอยู่ในระบบ Jenkins และ Carrison(1968) และผู้สำรวจอื่น ๆ แนะนำว่าที่ระยะเวลาที่ตะกอนจุลินทรีย์ถูกเก็บกักอยู่ในระบบประมาณ 3 วัน จะเป็นจุดเริ่มของการเกิดไนตริฟิเคชั่น และจะเกิดขึ้นอย่างค่อนข้างสมบูรณ์ที่ระยะเวลาที่ตะกอนจุลินทรีย์ถูกเก็บกักอยู่ในระบบประมาณ 10 วัน ที่ระยะเวลาที่ตะกอนจุลินทรีย์ถูกเก็บกักอยู่ในระบบน้อยกว่า 3 วันจะไม่มีไนตริฟิเคชั่นเกิดขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย