บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 หลักการทำงานของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์นั้นแบ่งปลีกย่อยได้หลายแบบ แต่ทุกแบบมีหลักการเดียวกัน กล่าวคือ ระบบจะต้องประกอบด้วยถังปฏิกิริยา (ถังเติมอากาศ) และ ถังตกตะกอน น้ำเสียจะถูกสูบเข้าถังเติมอากาศซึ่งมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ เพื่อให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบทำลายมลสารในน้ำเสียและเจริญโตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จุลินทรีย์ในถังเติมอากาศซึ่งมีจำนวนมากจนจับตัวกันเป็นฟล๊อกมีสีน้ำตาลเข้มเรียกว่า แอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (activated sludge) ในถังเติมอากาศจะมีระบบเติมอากาศเพื่อทำหน้าที่ให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์ และช่วยกวนตะกอนจุลินทรีย์ให้อยู่ในลักษณะแขวนลอยกระจายทั่วถังเติมอากาศ น้ำที่ออกจากถังเติมอากาศจะเป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลเข้าถังตกตะกอน เพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำทิ้ง น้ำทิ้งที่ล้นออกจากถังตกตะกอนจะเป็นน้ำใสที่มีค่า บีโอดี ต่ำ ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่จมอยู่ที่ก้นถังตกตะกอน ส่วนใหญ่จะถูกสูบกลับเข้าไปในถังเติมอากาศ เพื่อรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศให้คงที่ ตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะถูกนำไปกำจัดต่อไป (มลสารส่วนหนึ่งจะถูกทำลายกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอีกส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนเป็นตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินที่ต้องนำไปกำจัด)

2.1.1 ปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยการกระบวนการทางชีววิทยาซึ่งต้องอาศัยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆที่สามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำ และใช้ออกซิเจนอิสระในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์บางชนิดที่มีอยู่ในน้ำเสีย สุดท้ายจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ พลังงาน และเซลล์ตัวใหม่ ปฏิกิริยาทางชีวเคมีของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{สารอินทรีย์} + \text{ออกซิเจน} \xrightarrow[\text{เอ็นไซม์}]{\text{จุลินทรีย์}} \text{คาร์บอนไดออกไซด์} + \text{น้ำ} + \text{พลังงาน} \qquad (2.1)$$

$$\text{สารอินทรีย์} + \text{ฟอสฟอรัส} + \text{ไนโตรเจน} + \text{ออกซิเจน} \xrightarrow{\text{จุลินทรีย์}} \text{คาร์บอนไดออกไซด์} + \text{พลังงาน} + \text{น้ำ} + \text{เซลล์ใหม่} \qquad (2.2)$$

โดยพลังงานที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสมการที่ (2.1) จะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้เพื่อสร้างเซลล์ใหม่ตามสมการที่ (2.2)

จากสมการดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์บางชนิดไปเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์ ที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ และสามารถถูกแยกออกจากน้ำได้ด้วยการตกตะกอนในถังตกตะกอน

2.1.2 การเกิดแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

การเกิดแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน 3 ขั้นตอน ซึ่งทั้งหมดนี้จะเกิดขึ้นภายในถังเติมอากาศคือ

2.1.2.1 ขั้นส่งถ่าย (Transfer Step)

ขั้นแรกจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศจะดูดสารอินทรีย์ในน้ำเสียมาไว้ที่ผนังเซลล์ และส่งเอ็นไซม์ที่มีความเหมาะสมกับชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ออกมาย่อยสารอินทรีย์ให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลงพอที่จะซึมผ่านผลังเซลล์ได้ โดยขั้นตอนนี้จะกินเวลาประมาณ 15-30 นาที เพื่อให้จุลินทรีย์มีเวลาสัมผัสกับน้ำเสียได้เพียงพอและทั่วถึง

2.1.2.2 ขั้นเปลี่ยนรูป (Conversion step)

เมื่อสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกย่อยและดูดซึมเข้าสู่ภายในเซลล์แล้ว จุลินทรีย์จะเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ที่อยู่ภายในเซลล์ด้วยกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งในขณะดังกล่าวจุลินทรีย์จะต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในกระบวนการ และได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ พลังงาน

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และสร้างเซลล์ใหม่ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ (Synthesis) กระบวนการทั้งสองเป็นกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ (Metabolic Process)

2.1.2.3 ขั้นรวมตะกอน (Flocculation Step)

เมื่อจุลินทรีย์ได้ใช้สารอินทรีย์ในขั้นที่สองไปบางส่วน จนเหลือสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นอาหารจำกัด จุลินทรีย์จะมีพลังงานลดลง ขณะเดียวกันจุลินทรีย์จะถูกกวนผสมในถังเติมอากาศทำให้เซลล์ของมันชนกัน และจับตัวรวมกันเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้นเรียกว่า ฟล็อก ซึ่งมีความสามารถในการตกตะกอนได้ดีกว่าเซลล์เดี่ยวๆ ทำให้จุลินทรีย์ในขั้นนี้สามารถแยกตัวออกจากน้ำที่กำจัดแล้วได้ง่าย

2.1.3 จุลินทรีย์วิทยาของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาซึ่งอาศัยปฏิกิริยาทางชีวเคมีแบบอาศัยออกซิเจน และใช้จุลินทรีย์แขวนลอยในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปสารละลาย รูปคอลลอยด์ (colliods) หรือของแข็งแขวนลอย (suspended solids) ซึ่งผลสุดท้ายจะได้เซลล์ใหม่ พลังงาน น้ำ และ คาร์บอนไดออกไซด์ ฯลฯ

จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์สามารถจำแนกออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

2.1.3.1. จุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อก (floc forming microorganisms) เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญมากในระบบ เพราะถ้าขาดมันแล้วเราไม่สามารถที่จะแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำทิ้งโดยวิธีตกตะกอนตามธรรมชาติได้ ส่วนใหญ่ของจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะเป็นแบคทีเรีย

2.1.3.2. แซฟโปรไฟท์ (saprophytes) เป็นจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจนถึงผลสุดท้ายของปฏิกิริยา อันได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ฯลฯ ซึ่งจุลินทรีย์พวกนี้มีทั้งจุลินทรีย์สร้างฟล็อกและไม่สร้างฟล็อก

2.1.3.3. จุลินทรีย์ทำลาย (predator) เป็นจุลินทรีย์ที่กินจุลินทรีย์ด้วยกันเอง ซึ่งชนิดที่ใหญ่กว่าหรือมีศักยภาพที่สูงกว่าจะกินชนิดที่เล็กกว่า และมีส่วนช่วยให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ใส ตัวอย่างของจุลินทรีย์พวกนี้ ได้แก่ โปรโตซัว (protozoa) ซึ่งจับแบคทีเรียกินเป็นอาหาร นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เช่น อมีบา (ameaba) โรติเฟอร์ (rotifer) หนอน (worn) เป็นต้น

2.1.3.4. จุลินทรีย์ก่อกวน (nuisance microorganisms) เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดปัญหาในการทำงานของระบบ เช่น แบคทีเรียที่เป็นเส้นใย หรือฟังไจ ซึ่งทำให้เกิดการไม่จมตัวของสลัดจ์

อนึ่งการจำแนกประเภทจุลินทรีย์ในกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่กล่าวมานี้ เป็นการจำแนกอย่างกว้าง ๆ ดังนั้นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่ง ๆ อาจจัดอยู่ในประเภทต่าง ๆ ได้มากกว่าหนึ่งอย่าง หรือบางชนิดอาจเปลี่ยนประเภทได้ถ้ามีแรงผลักดันภายนอกบางอย่างเกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อมัน

2.1.4 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

การควบคุมการทำงานของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ให้เป็นปกติ ต้องควบคุมค่าต่างๆ ดังนี้

- ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าไปในถังเติมอากาศ
- ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ
- อายุตะกอน
- ปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่ป้อนเข้าให้ถังเติมอากาศ

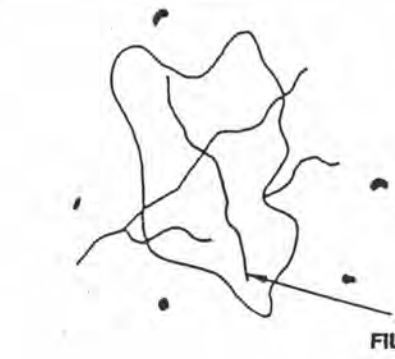
ซึ่งค่าเหล่านี้มีผลกระทบต่อการตกตะกอน และการทำงานของถังเติมอากาศว่าดีหรือเลวอย่างไร การแบ่งชนิดและลักษณะตะกอนในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์อาจแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

2.1.4.1. ตะกอนไม่จมตัว (bulking sludge) เกิดจากจุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นเส้นใย (filamentous bacteria) มีปริมาณมากกว่า แผ่คลุมเป็นร่างแหเหนี่ยวตะกอนจุลินทรีย์ไม่ให้จมหรือจมตัวช้า ก่อให้เกิดปัญหาการตกตะกอน ซึ่งดูได้จากดรรชนีปริมาตรตะกอน (sludge volume index) มีค่าสูงประมาณว่า ถ้าค่าดรรชนีปริมาตรตะกอนมีค่ามากกว่า 150 ถือว่าเกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัว

2.1.4.2. ตะกอนปกติ (non bulking) จะมีจุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อก เกาะเป็นกลุ่มใหญ่ อาจมีจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยปนอยู่บ้าง ยึดเหนียวไม่ให้ตะกอนแตกกระจาย เป็นผลให้ตะกอนตกได้เร็ว ค่าดรรชนีปริมาตรตะกอนต่ำ และน้ำที่แยกเหนือชั้นตะกอนค่อนข้างใส

2.1.4.3. ตะกอนหัวเข็ม (pin point) เกิดจากตะกอนที่ไม่สามารถเกาะเป็นกลุ่มก้อนใหญ่ กระจัดกระจายเป็นกลุ่มเล็กๆ (disperse) ลอยปะปนกับน้ำเหนือชั้นตะกอน ทำให้น้ำทิ้งออกไปขุ่น ในตะกอนประเภทนี้จะไม่พบจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยปะปนอยู่กับตะกอนชนิดนี้ ค่าดรรชนีปริมาตรตะกอนต่ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

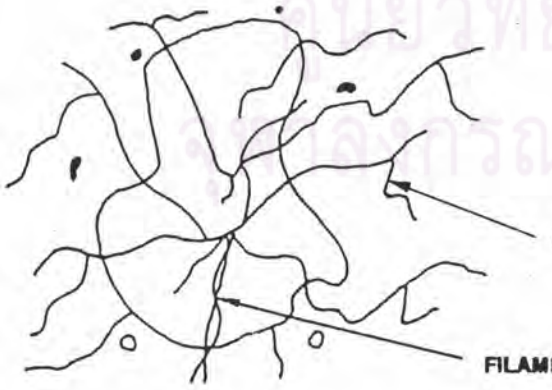


1. อัตราส่วนจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยและแบบสร้างฟล็อก มีสัดส่วนเหมาะสม
2. ฟล็อกขนาดใหญ่และแข็งแรง
3. จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยไม่ขัดขวางการตกตะกอน
4. น้ำทิ้งใส
5. มีค่า SVI ต่ำ

ตะกอนปกติ

1. ไม่มีจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย
2. ฟล็อกขนาดเล็กและไม่แข็งแรง
3. น้ำทิ้งขุ่น
4. มีค่า SVI ต่ำ

ตะกอนหัวเข็ม

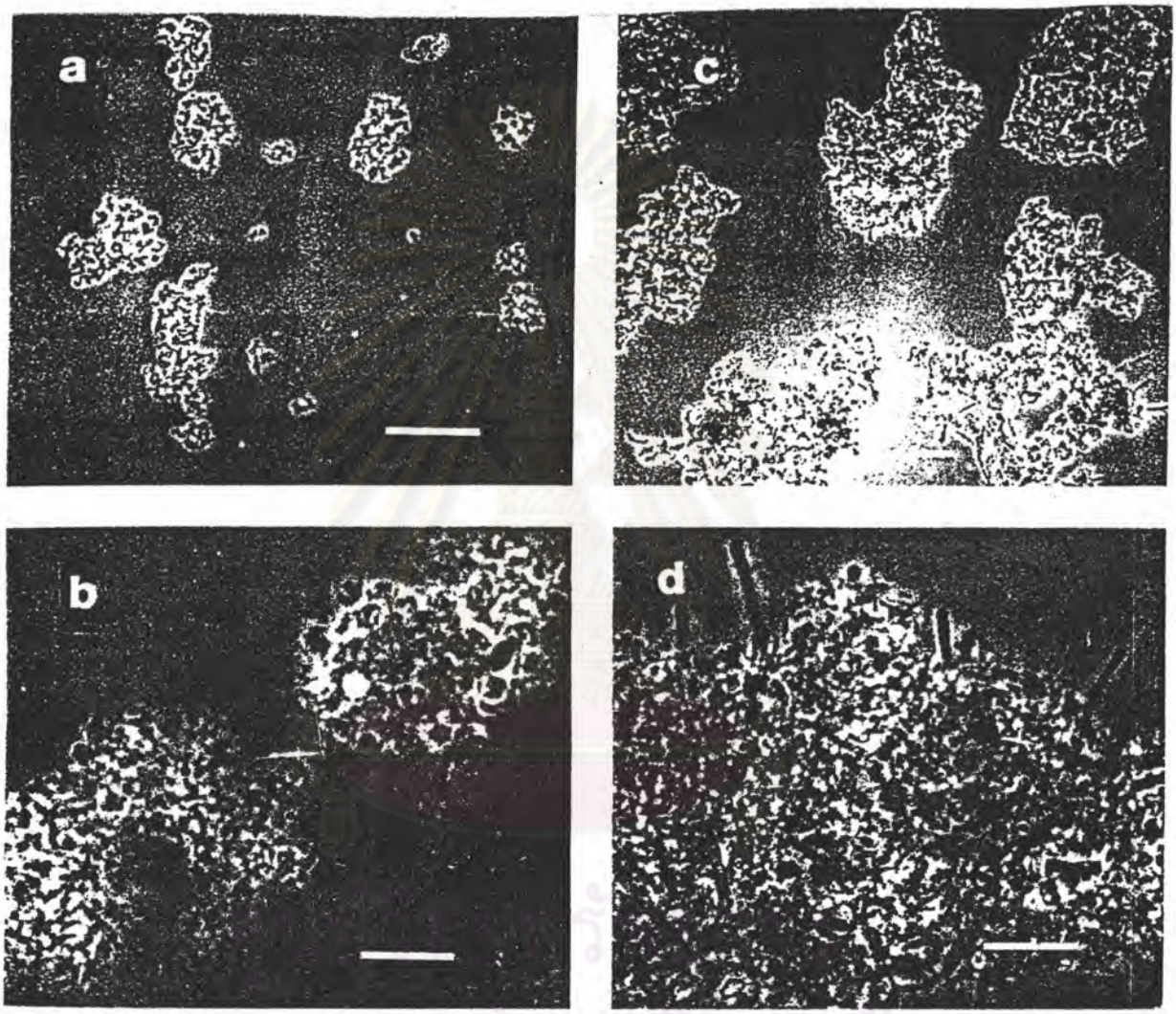


1. มีจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยจำนวนมาก
2. ฟล็อกขนาดใหญ่และแข็งแรง
3. จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยขัดขวางการตกตะกอน

ตะกอนไม่จมตัว

รูปที่ 2.1 ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์

(Jenkins,1993)



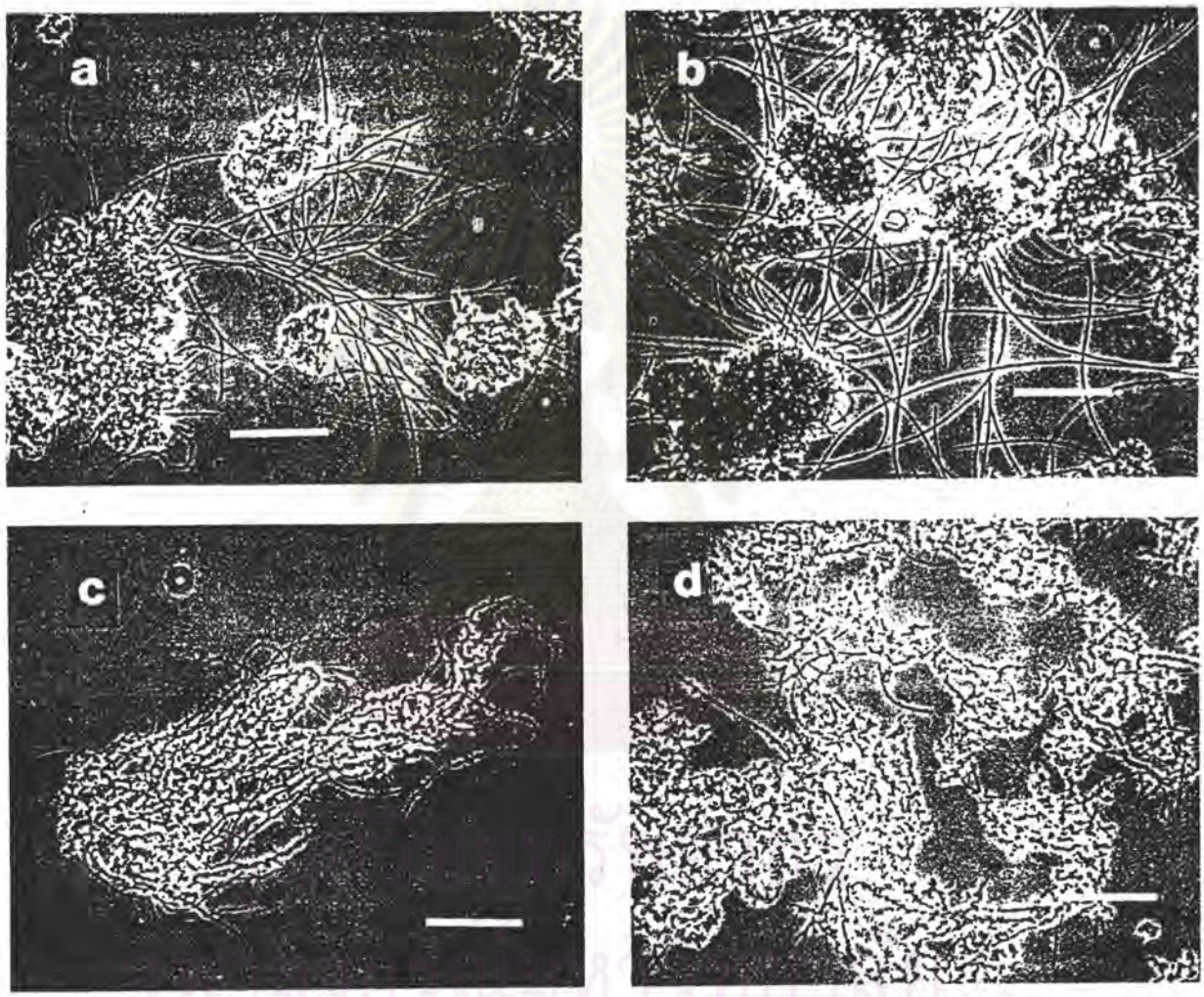
(a) ตะกอนหัวเข็ม (100X) , (b) ตะกอนหัวเข็ม (1000X)

(c) ตะกอนปกติ (100X) , (d) ตะกอนปกติ (1000X)

รูปที่ 2.2 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์

(Jenkins,1993)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



a และ b จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยจะอยู่ระหว่างกลุ่มฟล็อก (inter-floc bridging)

c และ d จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยจะอยู่ภายในฟล็อก (diffuse floc structure)

รูปที่ 2.3 ผลของจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยในกลุ่มฟล็อก

(Jenkins,1993)

2.1.5. ชนิดของจุลินทรีย์เส้นใยที่พบอยู่ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

นับตั้งแต่ได้มีการค้นพบระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เพื่อนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยชนิดแรกที่เป็นปัญหาเกิดสลัดจ์ไม่จมตัว คือ Sphaerotilus natans ดังปรากฏในผลการทดลองของ Arden และ Lockett เมื่อปี 1923 Busswell และ Long ในปี 1923 Martin ในปี 1929 เป็นต้น ต่อมาพบมีจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยอีกหลายชนิดในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ เช่น Beggiatoa trichomes,Bacillus,blue green algae นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์ที่ไม่ใช่แบคทีเรียแต่มีลักษณะเป็นเส้นใยที่ก่อปัญหาสลัดจ์ไม่จมตัว เช่น Geotrichum candidum หรือ Leptomitus spp. ซึ่งเป็นพวกฟังไจ พวกนี้ชอบอยู่ในน้ำที่มีค่าพีเอชต่ำ

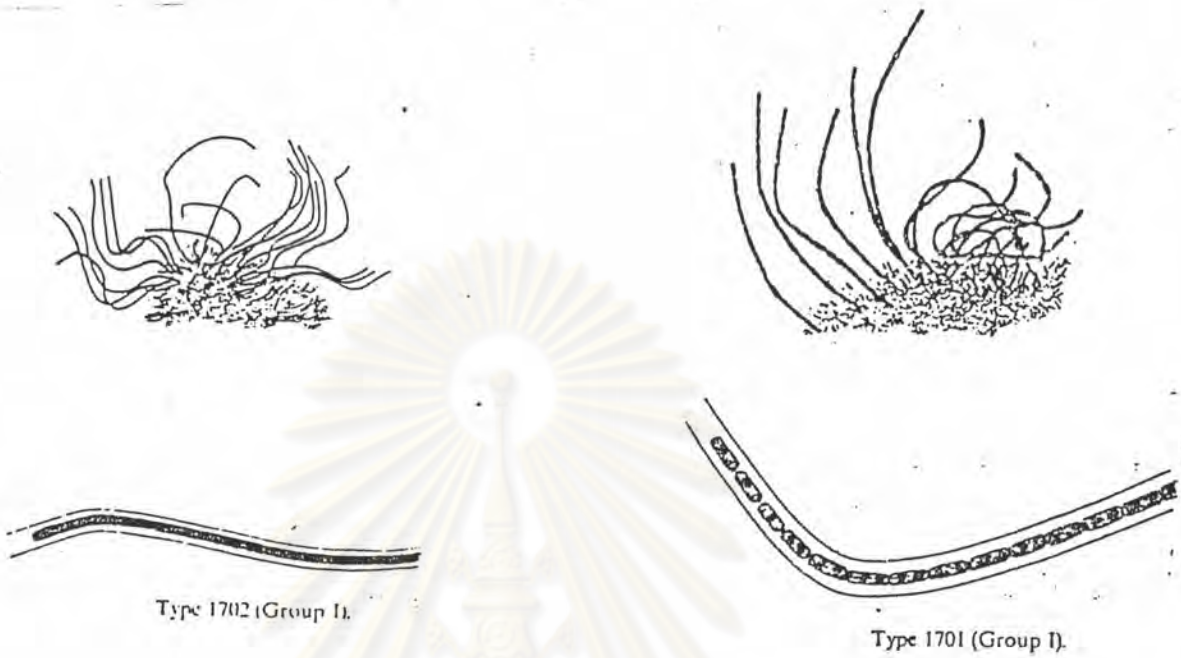
พวกจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยมีอยู่ด้วยกันหลายหลายชนิด แต่พอที่จะจำแนกตามลักษณะรูปร่างของมันได้ 7 พวกดังนี้

2.1.5.1 พวกมีเกราะหุ้ม , แกรมลบ (Sheath , Gram negative bacteria) พวกนี้จะมีลักษณะเส้นใยตรงหรือโค้งเล็กน้อย ได้แก่พวก Sphaerotitus natans , พวก 1701 , พวก1702 , พวก 0321 และ Haliscomeobacter hydrolysis ตามรูปที่ 2.4

2.1.5.2 พวกมีเกราะหุ้ม , แกรมบวก (Sheath-forming , Gram positive) พวกนี้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง หรือโค้งเล็กน้อย ไม่มีกิ่งก้านสาขา เป็นพวกแกรมบวก พวกนี้ได้แก่ พวก 0041 , พวก 0675 , พวก 1851 ตามรูปที่ 2.5

2.1.5.3 พวกที่ไม่มีเกราะหุ้ม , เส้นใยคดโค้ง เป็นพวกจุลินทรีย์หลายเซลล์คล้ายพวกสาหร่ายน้ำเงินแกมเขียว (Sheathless , Curled , Multicellerlar bacteria resembling blue green algae) พวกนี้ได้แก่ Cyanophyceae พวกนี้จะไม่มีกิ่งก้านสาขา เห็นเป็นเซลล์หลายๆเซลล์มาเรียงต่อกันเป็นเส้นได้อย่างชัดเจน พวกนี้ได้แก่ พวก 021N , Nostocoida และ Cyanophyceae ตามรูปที่ 2.6

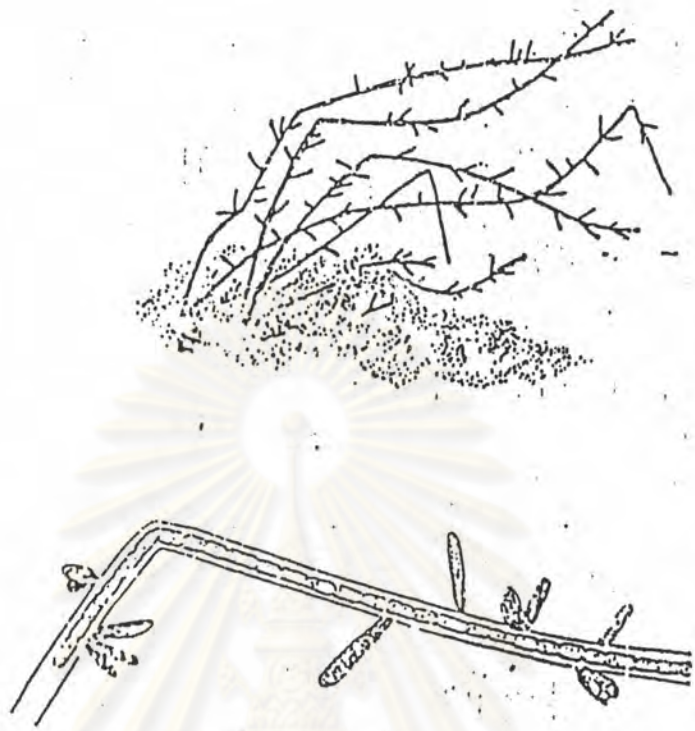
2.1.5.4 พวกที่เป็นเส้นใยเล็กบาง งอโค้งขดเป็นวง (Slender coiled bacteria) พวกนี้ไม่มีกิ่งก้านสาขา บางครั้งก็ลอยเป็นอิสระ พวกนี้ได้แก่ Microtrix parviccella ตามรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.4 จุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยกลุ่มที่ 1

(Eikelboom,1975)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) Type 1851

ข) Type 0041

รูปที่ 2.5 จุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยกลุ่มที่ 2

(Eikelboom,1975)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.6 จุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยกลุ่มที่ 3

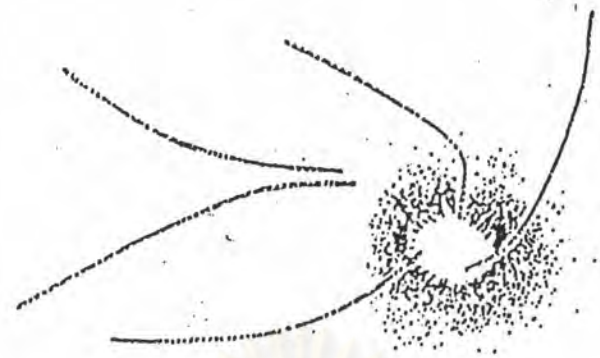
(Eikelboom,1975)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.7 จุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยกลุ่มที่ 4

(Eikelboom,1975)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) Type 0803

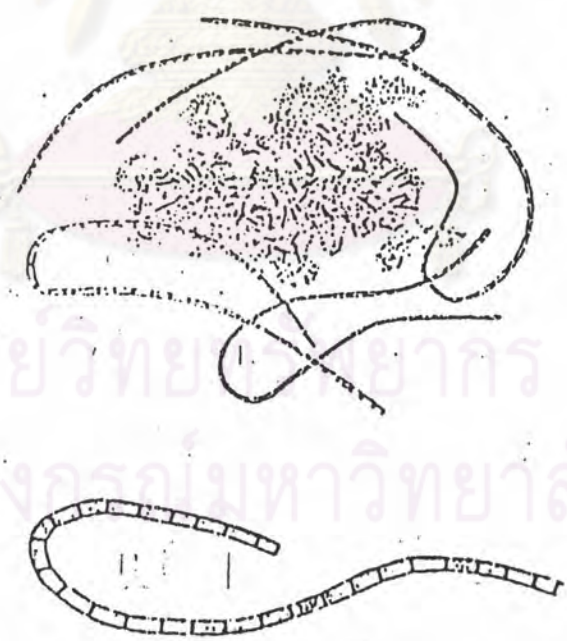
ข) Type 0961

รูปที่ 2.8 จุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยกลุ่มที่ 5

(Eikelboom,1975)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก) Type 0914



ข) Type 1111

รูปที่ 2.9 จุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยกลุ่มที่ 6

(Eikelboom,1975)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.10 จุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยกลุ่มที่ 7

(Eikelboom,1975)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.5.5 พวกที่เป็นเส้นใยยาวตรง เป็นพวกหลายเซลล์ต่อกัน เป็นแกรมลบ (Straight , Multicellular , Gram negative bacteria) พวกนี้มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกต่อเรียงกันเป็นปล้องๆ ไม่มีกิ่งก้านสาขา เช่นพวก 0803 , พวก 1091 , พวก 0092 ตามรูปที่ 2.8

2.1.5.6 พวกที่มีจุดเล็กๆ ตามเซลล์ (Filamentous bacteria motile by griding action) จุลินทรีย์พวกนี้มีเส้นใยค่อนข้างจะคดงอ มีกำมะถันเป็นจุดเล็กๆ อยู่ในเซลล์ พวกนี้เป็นพวกแกรมบวก เช่นพวก Beggiaton spp. ตามรูปที่ 2.9

2.1.5.7 พวกอื่นๆ (Additional types) พวกนี้ไม่มีจำแนกอยู่ในพวกไหน เช่นพวกที่มีรูปร่างคล้าย Streptrococcus หรือพวกฟังไจ ก็จัดอยู่ในพวกนี้ ตามรูปที่ 2.10

2.1.6 การวัดความสามารถในการจมตัวของสลัดจ์

ค่าดรรชนีปริมาตรตะกอน (sludge volume index , SVI) เป็นค่าที่ใช้กันแพร่หลายในการบอกถึงความสามารถในการจมตัวของแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ซึ่งสามารถหาค่าที่ได้จากสมการต่อไปนี้

$$SVI = \frac{V_{30}}{MLSS} \qquad (2.3)$$

โดยที่ SVI = ดรรชนีปริมาตรตะกอน (มล./ก.)

V_{30} = ปริมาตรตะกอน (วัดเป็นมิลลิลิตร) ที่ทิ้งให้ตกตะกอนนาน 30 นาที ในกระบอกตวงขนาด 1000 มล.)

MLSS = น้ำหนักของตะกอนจุลินทรีย์ (ก./ล.)

โดยทั่วไปแล้ว ถ้าแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีค่า SVI ต่ำกว่า 50 มล./ก. แสดงว่าสลัดจ์สามารถจมตัวได้ดีมาก ถ้ามีค่าระหว่าง 50 - 100 มล./ก. แสดงว่าสลัดจ์สามารถจมตัวได้ดีพอสมควร แต่ถ้าสูงกว่า 150 มล./ก. แสดงว่าสลัดจ์จมตัวได้ไม่ดี อาจมีปัญหาในการตกตะกอนได้

อย่างไรก็ตามค่าดรรชนีปริมาตรตะกอนนี้ เหมาะสำหรับใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแต่ละแห่งเท่านั้น และไม่สามารถนำข้อมูลที่ได้ในแต่ละแห่งมาเปรียบเทียบกันได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากค่าดรรชนีปริมาตรตะกอนเป็นค่าที่ขึ้นกับความเข้มข้นของ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS) ซึ่งมีค่าไม่เท่ากันในการวัดแต่ละครั้ง และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการทำงานได้ในกรณีที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศต่ำกว่า 4000 มก./ล. เท่านั้น ด้วยเหตุนี้ความ สามารถในการจมตัวของสลัดจ์จึงไม่ควรดูจากค่าดรรชนีปริมาตรตะกอนเพียงอย่างเดียว ควรจะตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์และมีการดูค่า V_{30} ประกอบด้วย

ถ้าตรวจสอบค่า V_{30} นั้น ตะกอนที่การไม่จมตัวอย่างรุนแรงจะตกตะกอนได้น้อย โดยค่า V_{30} จะมีค่าประมาณ 980 - 990 มล./ล. ส่วนการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายปกติ (400 เท่า) หากพบเส้นใยขนาดเล็กจำนวนมากแสดงว่าตะกอนเกิดการไม่จมตัว ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.11

2.2 สาเหตุการไม่จมตัวของสลัดจ์

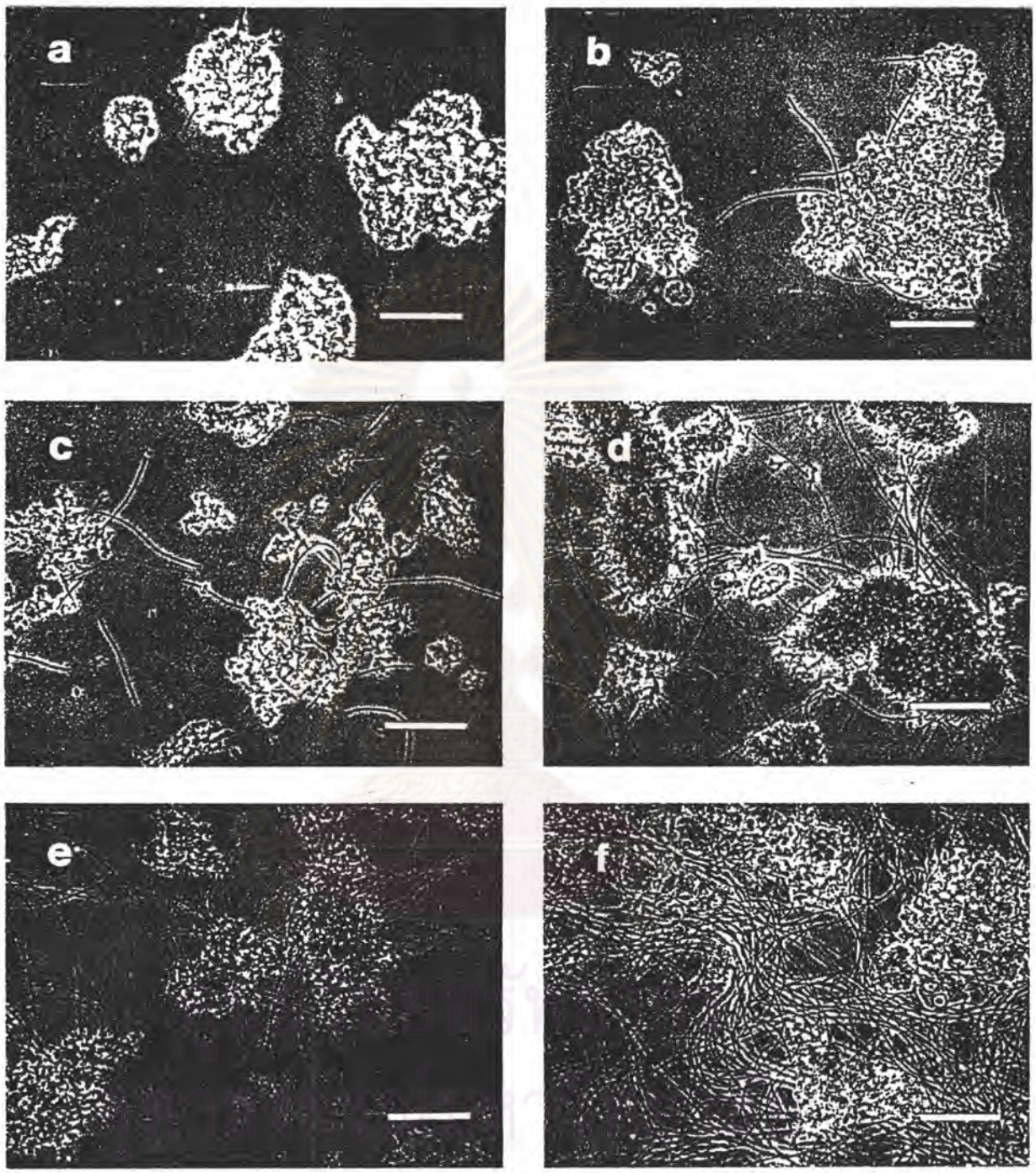
การไม่จมตัวของสลัดจ์ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แสดงว่า จุลิทรีย์ที่เป็นเส้นใยสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าจุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อก ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดสภาวะเช่นนี้แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

- สภาวะแวดล้อมในถังปฏิกิริยา
- ชนิดของสารอาหารในน้ำเสีย
- organic loading หรือค่าอายุตะกอน
- ลักษณะการไหลทางชลศาสตร์ในถังปฏิกิริยา

2.2.1 สภาวะแวดล้อมในถังปฏิกิริยา

- ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำ

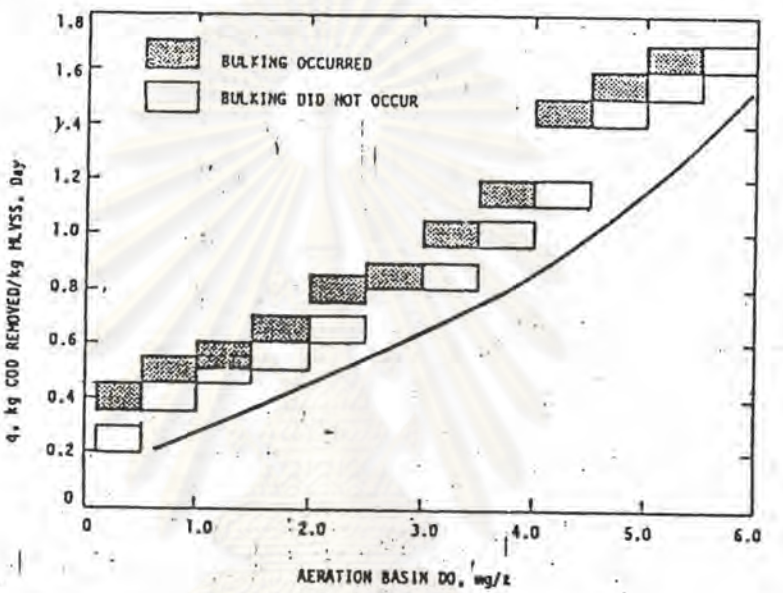
ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ในถังเติมอากาศควรมีค่าที่เหมาะสมตามรูปที่ 2.12 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าออกซิเจนละลายน้ำกับค่า F/M ที่มีผลต่อการเกิดสลัดจ์ไม่จมตัว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าหากค่า DO ต่ำเกินไปก็อาจเกิดปัญหาการไม่จมตัวของสลัดจ์ได้ อย่างไรก็ตามได้มีผู้เสนอวิธีแก้ปัญหาการไม่จมตัวของสลัดจ์ โดยการทำให้แอกทิเวเต็ดสลัดจ์อยู่ในสภาวะที่ขาดออกซิเจน (anaerobic) เช่น Eckenfelder,1970 (อ้างถึงในสุรพล,2528) เสนอให้นำ



a. น้อยมาก(few) , b. น้อย(some) , c. ปานกลาง(common) ,
d. ปานกลางค่อนข้างมาก(very common) , e. มาก(abundant) , f. มากเกิน(excessive)

รูปที่ 2.11 ปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยในกลุ่มฟล็อก
(Jenkins,1993)

ตะกอนที่สูบกลับจากถังตกตะกอนมากักไว้ให้ขาดออกซิเจนประมาณ 6 ชั่วโมง ก่อนที่จะส่งเข้าถังเติมอากาศ ส่วน Bernard,1978 (อ้างถึงใน สุรพล,2528) ได้พบว่าการหยุดให้ออกซิเจนเป็นเวลา 1 วัน สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยได้ ซึ่งการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีนี้คงสามารถใช้ได้เฉพาะกับจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยชนิดที่ต้องการออกซิเจนในการดำรงชีพ (obligate aerobes) ดังนั้นการนำไปใช้ในการแก้ปัญหาจึงต้องระวังให้มาก เพราะอาจทำให้ระบบไม่สามารถทำงานได้อีกเลยก็ได้



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออกซิเจนละลายน้ำกับค่า F/M ที่มีผลต่อการเกิดสลัดจ์ไม่จมตัว (Palm,1980)

- ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นอาหารเสริมหลักที่จำเป็นสำหรับจุลินทรีย์ในการสร้างเซลล์ ในทางปฏิบัติมักถือว่า อัตราส่วนค่า BOD:N:P ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 100:5:1 (Jenkins,1993) มิฉะนั้นอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยได้

- เหล็ก

เหล็กเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นและสำคัญในกระบวนการชีวเคมีของสิ่งมีชีวิตที่ใช้ออกซิเจน ในกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ต้องมีอัตราส่วน BOD:Fe ไม่ต่ำกว่า 200:1 (James M. Montgomery,Inc,1977 อ้างถึงใน สุรพล,2528) ในทำนองเดียวกันหากมีสารประกอบเหล็กอยู่มากเกินไปก็อาจทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยที่ใช้ธาตุเหล็กเป็นอาหารหลักเจริญเติบโตขึ้นเป็นจำนวนมากก็ได้

- ซัลไฟด์

การที่มีซัลไฟด์ (sulfides) อยู่ในน้ำเสียเป็นปริมาณสูงอาจทำให้เกิดสลัดจ์ไม่จมตัวได้ เนื่องจากมีจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยสามารถใช้ซัลไฟด์เป็นอาหาร เช่น Thiotrix และ Beggiatoa sp. การแก้ปัญหาที่เกิดจากสาเหตุนี้สามารถทำโดยการนำน้ำเสียมาเติมอากาศเพื่อไล่ซัลไฟด์ออกเสียก่อน หรืออาจใช้กระบวนการลานกรองจุลินทรีย์ (tricking filter) แบบ high rate บำบัดน้ำเสียก่อนขั้นแรก เพื่อออกซิไดส์ซัลไฟด์ให้เป็นซัลเฟตก่อนเข้าระบบบำบัดแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

- ค่าพีเอช

ค่าพีเอชที่เหมาะสม ควรมีค่าใกล้เคียง 7 คือสภาพเป็นกลางมากที่สุด หากค่าพีเอชต่ำจะทำให้ฟังไจที่เป็นเส้นใยเจริญเติบโตและก่อให้เกิดปัญหาการไม่จมตัวของสลัดจ์ได้

- การเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์อย่างรวดเร็ว

การเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์อย่างรวดเร็ว (shock load) ทั้งปริมาณการไหลและความเข้มข้น ซึ่งหากไม่ได้รับการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่สามารถรับสถานะการณ์เช่นนี้แล้ว มักเอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย สาเหตุอาจเนื่องจากจุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อกไม่สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ หรือการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์อย่างรวดเร็วมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ และเป็นสาเหตุต่อเนื่องกันก็อาจเป็นได้ เช่น ทำให้ออกซิเจนในน้ำต่ำลง มีค่าอาหารเสริมไม่เพียงพอ เป็นต้น วิธีแก้ไขทำได้โดยการสร้างบ่อพักน้ำเสีย เพื่อปรับสภาพให้มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักแล้วจึงส่งเข้าไปในถังเติมอากาศ

- สารพิษ

การที่มีสารพิษ เช่น โลหะหนักปนเข้ามากลับน้ำเสียเป็นปริมาณไม่มากนักจะทำให้จุลินทรีย์ที่ทนต่อสารพิษชนิดนั้นได้ไม่ตาย ส่วนจุลินทรีย์ที่เหลือก็เจริญเติบโตขึ้นเป็นอัตราส่วนที่เพิ่มมากขึ้น เช่น การมีสารประกอบโครเมี่ยมอยู่ในน้ำเสียจะทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยเจริญเติบโตได้ดีกว่าจุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อก แต่ถ้าใส่สารเคมีที่เป็นสารออกซิไดส์อย่างแรง เช่น คลอรีนหรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ลงไปในน้ำกลับพบว่าจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยสามารถทนความเป็นพิษได้น้อยกว่าและตายก่อนจุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อก จึงเป็นวิธีแก้ปัญหาการไม่จมตัวของสลัดจ์แบบเฉพาะหน้าวิธีหนึ่ง

2.2.2 ชนิดของสารอาหารในน้ำเสีย

ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ใช้กำจัดน้ำเสียที่มีส่วนประกอบซับซ้อน เช่น น้ำเสียจากที่อยู่อาศัย น้ำเสียจากโรงงานทำอาหารกระป๋อง ฯลฯ มักไม่เกิดปัญหาการไม่จมตัวของสลัดจ์ หรือถ้าเกิดก็มักไม่รุนแรงและเกิดขึ้นเป็นครั้งคราวซึ่งหายได้เอง ส่วนแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่เลี้ยงด้วยน้ำเสียที่เป็นแป้ง น้ำตาล หรือสารอาหารที่ย่อยได้ง่ายซึ่งไม่มีสารอาหารประเภทอื่นมักจะเกิดปัญหาสลัดจ์ไม่จมตัวอย่างรุนแรงและถาวร ซึ่งการแก้ปัญหาแบบนี้กระทำได้โดยการออกแบบถังเติมอากาศเลี้ยงจุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อกเท่านั้นและกีดกันไม่ให้จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยมีโอกาสเติบโตขึ้นมาแข่งได้

2.2.3 organic loading

organic loading คืออัตราส่วนอัตราการให้สารอาหารต่อมวลจุลินทรีย์ (Food to Microorganism ratio , F/M) ถ้าเอาค่าประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์คูณกับค่า F/M จะได้เป็นค่าอัตราส่วนการใช้สารอาหารจำเพาะ(U) ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าอายุตะกอน (sludge age) ตามสมการที่ 2.4 - 2.8

$$F/M = QS_0/(XV) \quad (2.4)$$

$$\eta = (S_0 - S)/S_0 \quad (2.5)$$

$$\eta(F/M) = U = Q(S_0 - S)/(XV) \quad (2.6)$$

$$1/\theta_c = YU - b \quad (2.7)$$

$$1/\theta_c = Y\eta(F/M) - b \quad (2.8)$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลของน้ำเสีย

S_0 = ระดับสารอาหารในน้ำเข้า

V = ปริมาตรของถังปฏิกิริยา

S = ระดับสารอาหารในน้ำทิ้ง

X = ระดับตะกอนแขวนลอยในถังปฏิกิริยา

b = อัตราการย่อยสลายตัวเอง

U = อัตราการกำจัดสารอาหารจำเพาะ

Y = ยิลด์ (yield)

η = ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

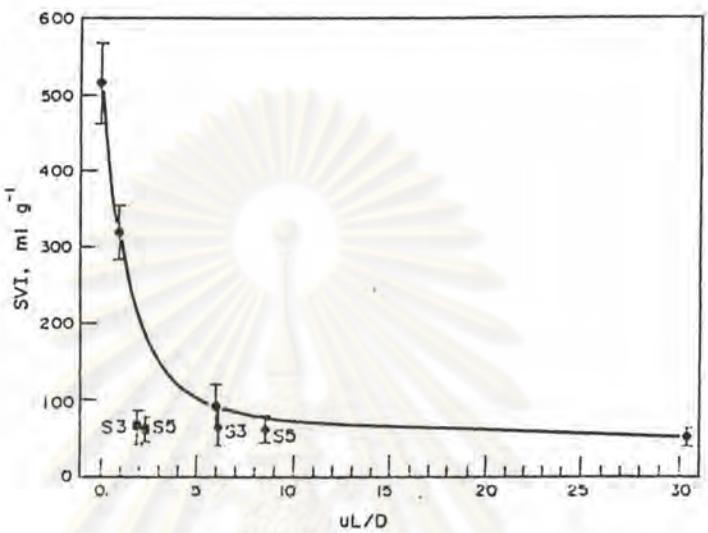
ดังนั้นถ้าการควบคุมค่าใดค่าหนึ่งแล้วอีกสองค่าที่เหลือจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก การเปลี่ยนค่า organic loading หรือค่าอายุตะกอน จะทำให้อัตราส่วนของจุลินทรีย์แต่ละชนิดที่อยู่ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เปลี่ยนแปลงไป เช่นโปรโตซัวจะมีอัตราส่วนมากขึ้นถ้ามีค่าอายุตะกอนมากขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์

กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ได้รับสารอาหารมากเกินกว่าที่จุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อกจะใช้หมด สารอาหารที่เหลือจะถูกจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยใช้ ดังนั้นระบบที่ได้รับ organic loading มากเกินไป หรือค่า F/M สูงเกินไป หรืออายุตะกอนต่ำเกินไปจึงอาจเกิดปัญหาการไม่จมตัวของสลัดจ์

2.2.4 ลักษณะการไหลทางชลศาสตร์ในถังปฏิกิริยา

ลักษณะการไหลทางชลศาสตร์ในถังปฏิกิริยา ก่อให้เกิดรูปแบบของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ได้หลายแบบ และรูปแบบแต่ละชนิดจะมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพ และการจมตัวของสลัดจ์ ลักษณะการไหลทางชลศาสตร์ในถังปฏิกิริยาแบ่งออกเป็นสองแบบใหญ่ๆได้แก่ แบบกวนสมบูรณ์ (Completely mixed) และแบบไหลตามแนวยาว (Plug flow) จากการศึกษาในอดีตทั้งจากในห้องปฏิบัติการและจากโรงบำบัดน้ำเสีย มีข้อมูลมาพอที่จะกล่าวได้ว่า การไหลแบบกวนสมบูรณ์ที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าถังปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง เป็นสภาวะที่เอื้ออำอวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใย และเกิดปัญหาสลัดจ์ไม่จมตัวในถังตกตะกอน

Chudoba et al. (1973a) ได้ทำการศึกษาระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่มีถังเติมอากาศสี่ใบต่อกันอย่างอนุกรม โดยถังเติมอากาศทั้งสี่ใบมีความแตกต่างของความปั่นป่วนของน้ำ (วัดเป็นค่า Dispersion number โดยที่ Dispersion number ต่ำจะมีความปั่นป่วนของน้ำต่ำ) ที่ออร์แกนิคโหลดเดียวกัน ปรากฏว่าเมื่อ Dispersion number ของอนุกรมของถังเติมอากาศทั้งสี่เท่ากับ ∞ , 1.06 , 0.17 และ 0.33 สลัดจ์ในระบบจะมีค่า SVI มีค่าเท่ากับ 517 , 300 , 91 , 51 มล./ก. ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ผู้วิจัยสรุปได้ว่าระบบการเติมอากาศที่มีความปั่นป่วนของน้ำต่ำ และมีค่า Dispersion number ต่ำ จุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อกจะเจริญเติบโตได้ดีและขณะเดียวกันก็จะไประงับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบเส้นใย ในทางตรงกันข้าม ถังเติมอากาศที่ที่ค่า Dispersion number สูง จุลินทรีย์แบบเส้นใยจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบบสร้างฟล็อก



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนกลับของ Dispersion number กับ SVI (Chudoba,1973a)

2.3 แนวคิดในการใช้ถังคัดพันธุ์ในการควบคุมการไม่จมตัวของสลัดจ์

ปัญหาหนึ่งที่มักพบอยู่เสมอและเป็นปัญหาสำคัญที่เกี่ยวกับการทำงานของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ก็คือการเกิดสลัดจ์ไม่จมตัวในถังตกตะกอน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คืออัตราการจมตัวของสลัดจ์มีค่าต่ำ ทำให้เกิดการสะสมของชั้นสลัดจ์สูงขึ้นจนกระทั่งมีสลัดจ์บางส่วนไหลปนออกไปกับน้ำทิ้งสุดท้าย

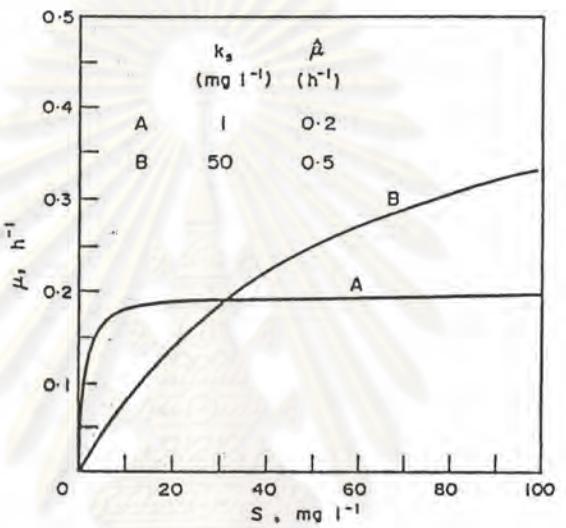
สาเหตุของการที่สลัดจ์ไม่จมตัว ก็เนื่องมาจากจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยเจริญเติบโตจนมีปริมาณมากในถังเติมอากาศและจับตัวกันเป็นร่างแหพยุงสลัดจ์ไว้ ทำให้สลัดจ์จมตัวได้ช้าในถังตกตะกอน ส่งผลทำให้การแยกสลัดจ์ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แนวคิดวิธีหนึ่งที่เป็นไปได้ในการแก้ปัญหาสลัดจ์ไม่จมตัวก็คือ ต้องระวังไม่ให้จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยเกิดขึ้น การป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยเกิดขึ้นได้ก็ต้องรักษาสภาวะให้เหมาะสมทำให้จุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อกเจริญเติบโตได้เร็วกว่าและมีจำนวนมากกว่าจนเป็นส่วนประกอบสำคัญของระบบ สภาวะที่จำเป็นต้องรักษาให้เหมาะสม ได้แก่ พีเอช ออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณ

ไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัส และแร่ธาตุอื่นๆที่จำเป็น ที่สำคัญที่สุดคือต้องไม่ให้ระดับสารอาหารภายในถังปฏิกิริยามีค่าต่ำไป

จากผลการวิจัยของ Chudoba et al (1973b) แสดงให้เห็นว่าอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยและชนิดสร้างฟล็อก มีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของสารอาหาร สามารถอธิบายด้วยรูปที่ 2.14 ที่ได้จากสมการของโมโนด (Monod equation) โดยเส้น A เป็น จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยมีค่า K_s = 1 มก./ล. , μ_m = 0.2 hr^{-1} และเส้น B เป็นจุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อกมีค่า K_s = 50 มก./ล. , μ_m = 0.5 hr^{-1} ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด (maximum growth rate) ที่ต่ำกว่าจุลินทรีย์สร้างฟล็อก แต่ในสภาพที่มีค่าความเข้มข้นของสารอาหารต่ำๆ จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าจุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อก เนื่องจากน้ำเสียที่เป็นแป้งหรือน้ำตาลเป็นส่วนประกอบหลักสามารถถูกย่อยสลายได้ง่ายมากกว่าสารอินทรีย์ประเภทอื่นๆ เป็นส่วนประกอบ ทำให้ระดับสารอาหารที่เหลืออยู่ในถังเติมอากาศที่ถูกเลี้ยงด้วยแป้งหรือน้ำตาลมีค่าต่ำมาก จึงเป็นปัจจัยที่ทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยเจริญเติบโตได้ดีกว่าจุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อก

ดังนั้นการควบคุมระดับสารอาหารในถังปฏิกิริยาให้มีความเข้มข้นสูง จะป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว และมีจำนวนมากจนเป็นส่วนประกอบหลักของระบบ วิธีควบคุมสภาพดังกล่าวคือการใช้ถังปฏิกิริยาหลายใบต่ออนุกรมกัน โดยที่ถังปฏิกิริยาใบแรกจะต้องออกแบบให้รับออร์แกนิคโหลดสูง แต่ต้องไม่มากจนเกินไปเพื่อให้จุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อกได้ใช้อาหารส่วนใหญ่และเจริญเติบโตเป็นจุลินทรีย์หลักของระบบ การใช้ถังปฏิกิริยาหลายใบต่ออนุกรมกันจะทำให้จุลินทรย์แบบสร้างฟล็อกที่เกิดขึ้นถูกส่งต่อไปยังถังปฏิกิริยาใบอื่นๆ ทำให้ระบบมีจุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อกเป็นส่วนใหญ่ ด้วยวิธีการที่กล่าวมาแล้ว จุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยจะไม่มีโอกาสเกิดขึ้นมากจนเป็นส่วนประกอบหลักของระบบ Chudoba et al. (1973b) เรียกถังปฏิกิริยาใบแรกว่า ถังคัดพันธุ์ (Selector) ซึ่งหมายถึงถังปฏิกิริยาสำหรับคัดเลือกพันธุ์จุลินทรีย์ ที่มีสภาวะโหลดดิงสูง ทำให้ความเข้มข้นของสารอาหารและอัตราเร็วของปฏิกิริยามีค่าสูงในถังใบแรก และอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะลดลงในถังปฏิกิริยาใบถัดไป



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย (A) และแบบสร้างฟล็อก (B) กับความเข้มข้นของสารอาหาร , (Chudoba,1973b)

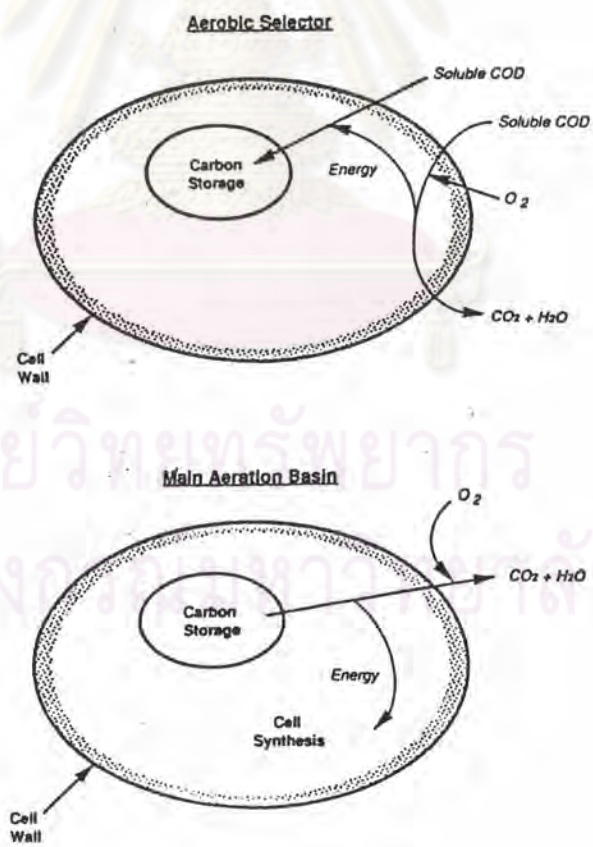
2.3.1 ประเภทของถังคัดพันธุ์

วัตถุประสงค์ในการใช้ถังคัดพันธุ์ก็เพื่อสร้างสถาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อก โดยมีค่า F/M สูงและเวลากักน้ำต่ำ ประเภทของถังคัดพันธุ์นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

2.3.1.1 ถังคัดพันธุ์แบบออกซิก หมายถึงถังคัดพันธุ์ที่มีกาซออกซิเจนเป็นตัวรับอิเลคตรอนอย่างเพียงพอ (มีการเติมอากาศอย่างเพียงพอ) ซึ่งมีกลไกการทำงานตามรูปที่ 2.15 ภายในถังคัดพันธุ์จะมีการเก็บสะสมสารอาหารและเกิดการสันดาปเพียงบางส่วนเท่านั้น โดยจะเกิดการสันดาปสารอาหารที่เก็บสะสมไว้ในถังเติมอากาศหลัก

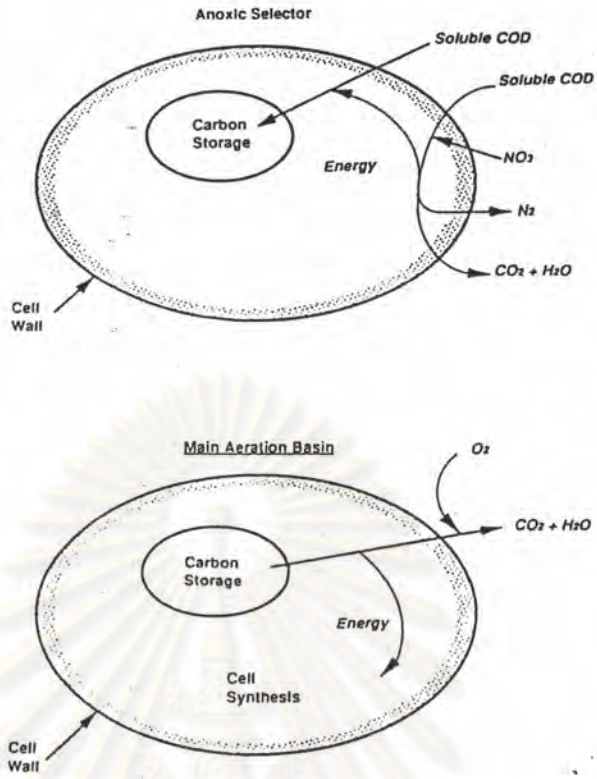
2.3.1.2 ถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิก หมายถึงถังคัดพันธุ์ที่มีไนเตรตเป็นตัวรับอิเลคตรอน (ไม่มีการเติมอากาศ แต่ยังมีไนเตรตเหลืออยู่เพียงพอในการสันดาป) ซึ่งมีกลไกการทำงานตามรูปที่ 2.16 ภายในถังคัดพันธุ์จะมีการเก็บสะสมสารอาหารและเกิดการสันดาปเพียงบางส่วนเท่านั้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในถังคัดพันธุ์จะเป็นปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดยจะเกิดการสันดาปสารอาหารที่เก็บสะสมไว้ในถังเติมอากาศหลัก

2.3.1.3 ถังคัดพันธุ์แบบแอนแอโรบิค หมายถึงถังคัดพันธุ์ที่ขาดทั้งกาซออกซิเจนและไนเตรต ซึ่งมีกลไกการทำงานตามรูปที่ 2.17 ภายในถังคัดพันธุ์จะมีการเก็บสะสมสารอาหารเท่านั้น ซึ่งได้พลังงานจากการทำลายพันธะของ ATP เป็น ADP โดยจะปล่อยฟอสเฟตออกมา และจะเกิดการสันดาปสารอาหารที่เก็บสะสมไว้ในถังเติมอากาศหลักให้พลังงานมาสร้างพันธะระหว่าง ADP และ ฟอสเฟต กลายเป็น ATP อีกครั้ง



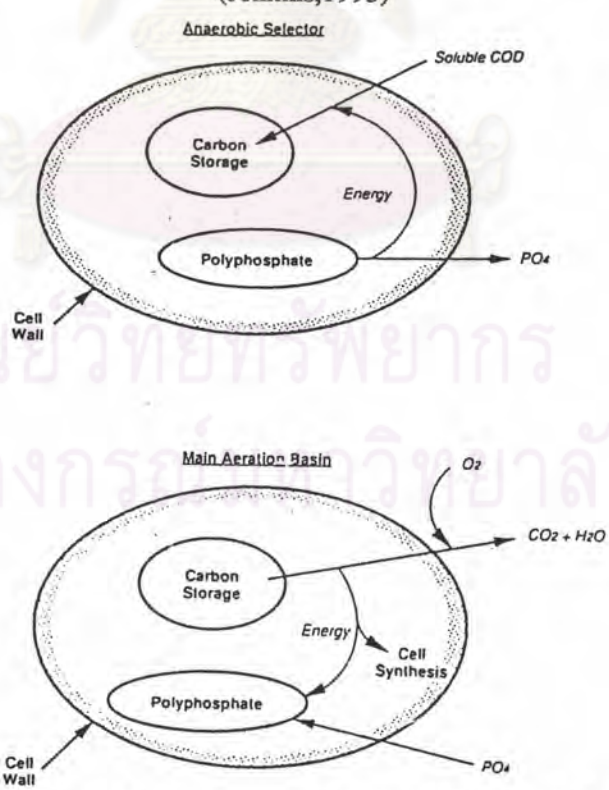
รูปที่ 2.15 กลไกการทำงานของถังคัดพันธุ์แบบออกซิก

(Jenkins,1993)



รูปที่ 2.16 กลไกการทำงานของถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิก

(Jenkins,1993)



รูปที่ 2.17 กลไกการทำงานของถังคัดพันธุ์แอนแอโรบิค

(Jenkins,1993)

2.3.2 การใช้ถังแอนนอกซิกในการควบคุมสลัดจ์ไม่จมตัว

การควบคุมสลัดจ์ไม่จมตัวในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยใช้ถังแอนนอกซิกรับน้ำเสียก่อนป้อนเข้าถังเติมอากาศ ถังแอนนอกซิกมีหน้าที่กักตะกอนจุลินทรีย์ก่อนเพื่อลดค่าออกซิเจนละลายให้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เพื่อให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

จากการวิจัยพบว่า การใช้ถังแอนนอกซิกสามารถควบคุมการไม่จมตัวของสลัดจ์ได้ดี ซึ่งเป็นผลมาจากจุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อกมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้สูงกว่าจุลินทรีย์แบบเส้นใยเมื่อมีไนเตรตเป็นตัวรับอิเลคตรอนอย่างเพียงพอ และจุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อกมีอัตราการย่อยสลายเซลล์ต่ำกว่าจุลินทรีย์แบบเส้นใยในถังแอนนอกซิก จึงสามารถมีชีวิตได้ดีกว่าเมื่ออยู่ในถังเติมอากาศหลักที่มีสารอินทรีย์คาร์บอนภายนอกเซลล์ต่ำมาก

2.4 การศึกษาที่ผ่านมา

Chudoba et al. (1973b) ได้แสดงให้ทราบถึงทฤษฎีทางจลน์ศาสตร์ของการคัดเลือกพันธุ์ในการเลี้ยงเชื้อผสม โดยทฤษฎีที่กล่าวถึงนี้เป็นไปตามสมการของโมโนด ที่สันนิษฐานว่ามีความแตกต่างของค่าคงที่ของอัตราการเจริญเติบโต μ_m และ K_s สำหรับจุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อกและจุลินทรีย์แบบเส้นใย ซึ่งจะสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและความเข้มข้นของสารอาหาร สามารถแสดงได้จากสูตรที่ 2.9

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \qquad (2.9)$$

μ = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate) , hr^{-1}

μ_m = อัตราการเจริญเติบโตสูงสุด (Maximum growth rate) , hr^{-1}

K_s = ค่าคงที่การเจริญเติบโต (Rate constant) , mg/l

S = ค่าความเข้มข้นของสารอาหารที่เป็นการจำกัดการเจริญเติบโต (Concentration of the growth limiting substrate) , mg/l

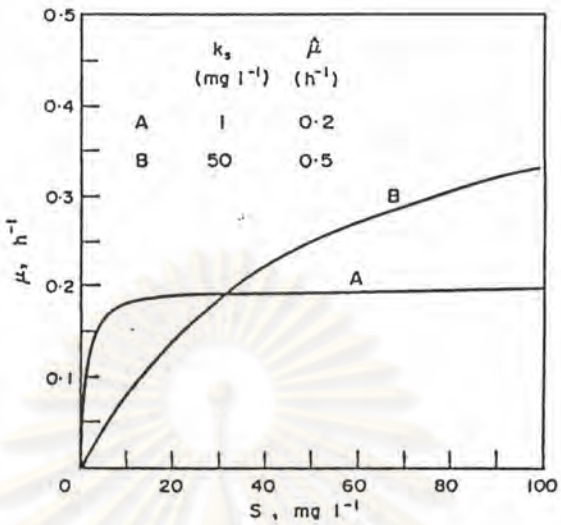
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยในเบื้องต้น Chudoba ได้ศึกษาข้อมูลของ Peir และ Grady (1971) ที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า μ_m และ K_s ที่มีความแตกต่างกันในการเลี้ยงเชื้อผสมด้วยน้ำตาลแลคโตส พบว่าจุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อกมีค่า $\mu_m = 0.53$ ชม.$^{-1}$ และ $K_s = 55$ มก./ล. ส่วนจุลินทรีย์แบบเส้นใยมีค่า $\mu_m = 0.20$ ชม. และ K_s มีค่าต่ำมาก

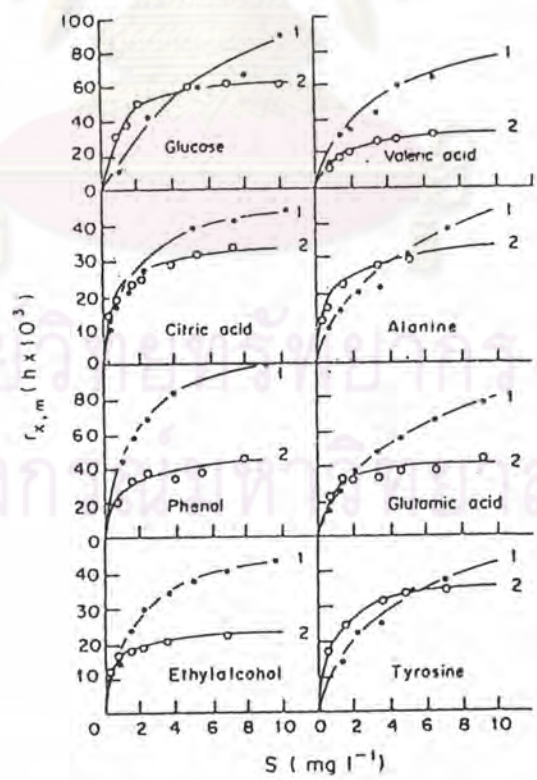
เริ่มต้นจากข้อมูลดังกล่าว Chudoba ได้สร้างกราฟที่มีสมมุติฐานตามสมการของโมโนด โดยสมมุติว่าในเชื้อผสมประกอบด้วยจุลินทรีย์เพียง 2 เผ่าพันธุ์ และให้เผ่าพันธุ์ A แทนจุลินทรีย์แบบเส้นใยที่มีค่าคงที่ในการเจริญเติบโตคือ $\mu_{m,A} = 0.20$ ชม.$^{-1}$ และ $K_{s,A} = 1$ มก./ล. เขียนแทนด้วยเส้นกราฟ A ส่วนเผ่าพันธุ์ B แทนจุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อก มีค่าคงที่ในการเจริญเติบโตคือ $\mu_{m,B} = 0.50$ ชม.$^{-1}$ และ $K_{s,B} = 50$ มก./ล. เขียนแทนด้วยเส้นกราฟ B ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด (maximum growth rate) ที่ต่ำกว่าจุลินทรีย์สร้างฟล็อก แต่ในสภาพที่มีค่าความเข้มข้นของสารอาหารต่ำๆ จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นในสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าจุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อก

จากเหตุผลที่กล่าวมานี้จึงสามารถทำให้อธิบายได้ว่า ในกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่มีการไหลทางชลศาสตร์ในถังเติมอากาศแบบกวนสมบูรณ์ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอาหารสูงและมีความเข้มข้นของสารอาหารต่ำตลอดทั่วถัง จึงเป็นระบบที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะกับความเข้มข้นของสารอาหารของจุลินทรีย์แบบเส้นใย (A) และแบบสร้างฟล็อก (B) , (Chudoba,1973b)



รูปที่ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกำจัดสารอาหารสูงสุด ($r_{x,m}$) และค่าความเข้มข้นสารอาหาร โดยที่ 1 - เป็นระบบที่มีถังคัดพันธุ์ และ 2 - เป็นระบบกวนสมบูรณ์ , (Chudoba,1985)

Chudoba et al. (1985) ได้ทำการศึกษาระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ และแบบที่มีถังคัดพันธุ์ เพื่อพิสูจน์ทฤษฎีทางจลน์ศาสตร์ในการคัดเลือกพันธุ์ ของเชื้อผสมที่ถูกเลี้ยงด้วยสารอาหารต่างชนิดกันได้แก่ Glucose , Galactose , Acetic acid , Valeric , Citric acid , Glutamic , Alanine , Phenol , Tyrosine , Methylalcohol และ Ethylalcohol ผลปรากฏว่าอัตราการกำจัดสารอาหารสูงสุด ($r_{x,m}$) และค่าคงที่ (K_s) ของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์มีค่าต่ำกว่าระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบที่มีถังคัดพันธุ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.19 และจากผลการทดลองพบว่า ระบบที่มีถังคัดพันธุ์มีค่า SVI ต่ำกว่า 100 มล./ก. ไม่ว่าน้ำเสียจะเป็นชนิดใด และระบบแบบกวนสมบูรณ์มีค่าเฉลี่ยของดรรชนีปริมาตรตะกอนอยู่ในช่วง 130-1000 มล./ก. ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสีย

นอกจากนี้ Chudoba ยังสรุปความสัมพันธ์ระหว่าง SVI และซีโอดีละลายน้ำของการวิจัยครั้งนี้ว่า ถ้าซีโอดีละลายน้ำที่เหลืออยู่ในถังเติมอากาศใบแรกมีค่าต่ำสุดไม่น้อยกว่า 30 มก./ล.แล้ว สามารถทำนายได้ว่า SVI จะมีค่าน้อยกว่า 100 มล./ก.เสมอ

Chudoba et al (1974) ได้ทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของการทดลองก่อนหน้านี้ (1973) เนื่องจากการทดลองเดิมจำกัดค่าสลัดจ์โหลดอยู่ในช่วงที่ต่ำ (0.3-0.4 กก.BOD/กก.MLVSS-วัน) ซึ่งการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์อื่นๆพบว่า สลัดจ์โหลดและอายุตะกอน มีผลต่อการจมตัวของสลัดจ์ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงทดลองที่ค่า สลัดจ์โหลดสูงและอายุตะกอนต่ำ โดยใช้ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่มีรูปแบบการไหลต่างกันคือ สองระบบแรกมีการไหลแบบกวนสมบูรณ์ ส่วนอีกสองระบบมีลักษณะการไหลตามแนวยาว ซึ่งมีค่า Dispersion number เท่ากับ 0.08 และ 0.07 และใช้ส่วนผสมแป้งกับ Peptone เป็นสารอาหาร ทุกระบบควบคุมอายุตะกอนที่ 2 และ 3 วัน และที่สลัดจ์โหลด 0.5-2.3 กก.BOD/กก.MLVSS-วัน ผลการทดลองปรากฏว่าที่สลัดจ์มากกว่า 0.5 กก.BOD/กก.MLVSS-วัน SVI จะมีค่าสูง แม้ว่าจะเป็นระบบที่มีลักษณะการไหลตามแนวยาว และความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างจะมีค่าสูงพอเหมาะก็ตาม นั่นแสดงว่าระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่มีลักษณะการไหลตามแนวยาวหรือค่าความเข้มข้นของสารอาหารที่แตกต่างไม่ใช่ปัจจัยอย่างเดียวที่ควบคุมการไม่จมตัวของสลัดจ์ และคงมีปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อจำนวนและการคัดเลือกพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่สลัดจ์สูงและอายุตะกอนต่ำ นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันระหว่าง SVI กับสลัดจ์โหลดของระบบที่มีลักษณะการไหลต่างกันคือ ในระบบที่มีลักษณะการไหลแบบกวนสมบูรณ์ SVI จะมีค่าต่ำลงเมื่อสลัดจ์โหลดสูงขึ้น ในขณะระบบที่มีการไหลเป็นแบบตามแนวยาว SVI จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อสลัดจ์โหลดสูงขึ้น

Chudoba (1985) ได้สรุปผลการวิจัยเป็นหลักพื้นฐานในการควบคุมปัญหาการไม่จมตัวของสลัดจ์ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ดังนี้

1. จุลินทรีย์แบบเส้นใยมีเสมอในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ปัญหาการไม่จมตัวของสลัดจ์จะเกิดก็ต่อเมื่อจุลินทรีย์แบบเส้นใยเจริญเติบโตมากกว่าจุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อก

2. การเจริญเติบโตอย่างมากของจุลินทรีย์แบบเส้นใยในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีผลจาก

- ส่วนประกอบของน้ำเสีย
- ความเข้มข้นของดีโอในถังเติมอากาศ
- ความเข้มข้นของสารอาหารละลายที่จุลินทรีย์อาศัย
- พารามิเตอร์ทางเทคโนโลยีของกระบวนการ เช่น อายุตะกอน, organic loading

3. จุลินทรีย์ที่สามารถเก็บรวบรวมสารอาหารส่วนใหญ่ไว้ในเซลล์จากถังคัดพันธุ์ จะเป็นจุลินทรีย์หลัก ต้องมีเวลาเพียงพอในการนำสารอาหารออกมาใช้เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์จุลินทรีย์ใหม่

4. ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ที่มีค่า organic loading ต่ำ จุลินทรีย์ในระบบจะรีบเก็บรวบรวมสารอาหารเข้าไว้ในเซลล์ (accumulation capacity) ให้มากที่สุดก่อนที่จะเกิดการสันดาป

5. ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยจะเจริญเติบโตได้ช้า ภายใต้สภาวะที่มีอาหารอุดมสมบูรณ์ โดยที่จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยจะมีค่าคงที่การอิ่มตัว (K_s , saturation constant) , อัตราการกำจัดสารอาหารสูงสุด ($r_{x,m}$, maximum substrate removal rate) และความสามารถเก็บรวบรวมสารอาหาร (AC , accumulation) ต่ำ

6. ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ จุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อกจะสามารถเจริญเติบโตได้เร็วภายใต้สภาวะที่มีอาหารอุดมสมบูรณ์ โดยที่จุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อกจะมีค่า K_s, $r_{x,m}$ และค่า AC สูง

Patoczka and Eckenfelder (1990) อธิบายว่าในการออกแบบถังคัดพันธุ์ต้องพิจารณาปัจจัยสำคัญ 2 ข้อคือ

1. สภาวะความเข้มข้นของสารอาหารในถังคัดพันธุ์ เพื่อให้จุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อกเจริญเติบโตได้สูงกว่าจุลินทรีย์แบบเส้นใย ระดับความเข้มข้นของสารอาหารต้องมีค่าสูง

2. สารอาหารส่วนใหญ่จะต้องถูกกำจัดในถังคัดพันธุ์ เพื่อเปลี่ยนเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อกให้มากที่สุด แต่สารอาหารที่ถูกกำจัดในถังคัดพันธุ์จะต้องมีเหลือไม่น้อยจนทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นในเจริญเติบโตได้ดีกว่า แต่ถ้าสัดส่วนของสารอาหารถูกกำจัดในถังคัดพันธุ์น้อยเกินไป สารอาหารที่เหลือจะผ่านเข้าไปยังถังเติมอากาศหลักซึ่งมีระดับสารอาหารต่ำ จะทำให้จุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยเจริญเติบโตได้ดีอีกเช่นกัน

Hoffman (1987) การใช้ถังคัดพันธุ์เปรียบเทียบกับระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ พบว่า ระบบที่ใช้ถังคัดพันธุ์ให้ตะกอนจุลินทรีย์ที่รีดน้ำได้ง่ายกว่าและตกตะกอนได้ดีกว่าระบบกวนสมบูรณ์ และการใช้ถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิกให้ปริมาณตะกอนน้อยกว่าแบบแอโรบิค สามารถกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำทิ้งได้เพิ่มขึ้นด้วยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน รวมทั้งสามารถเพิ่มภาระบรรทุกให้สูงขึ้นโดยไม่เกิดปัญหาการไม่จมตัวของสลัดจ์

Mc Clintock et al. (1988,1992,1993) ทำการวิจัยพบว่าจุลินทรีย์ที่ใช้ไนไตรทเป็นตัวรับอิเลคตรอนมีค่ายิลด์ (yield,Y_{max}) และสัมประสิทธิการย่อยสลายเซลล์ (endogenous,k_d) ต่ำกว่า และมีอัตราการใช้สารอาหาร (substrate utilization,k) สูงกว่าการใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเลคตรอน ทำให้ลดปริมาณตะกอนที่ทิ้งได้ประมาณ 40%

Wanner and Grau (1988) ศึกษาการไม่จมตัวของสลัดจ์ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ใช้ในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสเฟต พบว่า

- ถังคัดพันธุ์แบบแอนแอโรบิค ในสภาพไร้ออกซิเจนสามารถระงับ (suppress) การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใย เช่นชนิด 021N และ Sphaerotilus ได้ ทั้งนี้เป็นผลมาจากจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยมีอัตราการใช้สารอาหาร (substrate utilization rate) ในสภาพไร้อากาศต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการใช้สารอาหารของจุลินทรีย์ที่สามารถสะสมฟอสเฟตได้ เช่น Acinetobacter (Fuhs and Chen,1975) จนอาจกล่าวได้ว่าในสภาพดังกล่าวนี้จะไม่มีการใช้สารอาหารของกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย

- ถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิก จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยส่วนใหญ่ไม่สามารถใช้ตัวรับอิเลคตรอนจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันอย่างสมบูรณ์ ยกเว้น Microtrix sp. ซึ่งพบว่าเกิดปัญหาการไม่จมตัวของสลัดจ์เมื่อมีอุณหภูมิต่ำ ($10^{\circ}C$,Daigger,1985) Shao and Jenkens (1989) พบว่า Triothrix sp. และ 021N สามารถเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเปลี่ยนไนเตรตเป็นไนไตรท์เท่านั้นและด้วยอัตราช้ากว่า Zoogloea ramigera ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์เป็นไนโตรเจน

- ถังคัดพันธุ์แบบออกซิก เป็นไปตามแนวคิดของ Chudoba

Pujol and Boutin (1989) ใช้ถังคัดพันธุ์แบบออกซิกที่มีเวลากักน้ำ 15 นาที เพื่อเพิ่มความสามารถรับน้ำเสียของระบบบำบัด 3 แห่งในฝรั่งเศส ขนาด 6000,2000และ19000 ลบ.ม./วัน ซึ่งใช้ได้ดีโดยไม่ต้องสร้างถังบำบัดใหม่ รวมทั้งสามารถป้องกันและแก้ปัญหาการไม่จมตัวของสลัดจ์

Lee et al. (1982) ได้ทดลองหาขนาดที่เหมาะสมของถังคัดพันธุ์ โดยใช้น้ำเสียชุมชน สรุปว่าที่ขนาด 1/32 ของถังเติมอากาศ ป้องกันการไม่จมตัวของสลัดจ์ได้ แต่ไม่สามารถแก้ปัญหาการไม่จมตัวของสลัดจ์ ที่ขนาด 1/64 ของถังเติมอากาศ สามารถป้องกันและแก้ปัญหาการไม่จมตัวของสลัดจ์ได้

Daigger et al. (1985) ได้ทดลองใช้ถังคัดพันธุ์แบบแอโรบิคโดยใช้เวลากักน้ำ 15 นาที ในแบบทดลองและนำไปใช้ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียรวม ให้ผลการควบคุมการไม่จมตัวของสลัดจ์ได้ดี รวมทั้งสามารถเริ่มเดินระบบ (start-up) ได้เร็วกว่าปกติ

Shao and Jenkins (1989) ได้ทดลองถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิก โดยใช้เวลากักน้ำ 15 นาที (1/40 ของขนาดถังเติมอากาศ) ปรากฏว่าสามารถควบคุมการไม่จมตัวของสลัดจ์ได้ดี ผู้วิจัยได้เสนอกลไกการทำงานของถังแอนนอกซิกว่า จุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อกมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้สูงกว่าจุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยเมื่อมีไนเตรตเป็นตัวรับอิเลคตรอนอย่างเพียงพอ จุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อกมีอัตราการย่อยสลายเซลล์ต่ำกว่าจุลินทรีย์แบบเส้นใยในถังแอนนอกซิก จึงสามารถมีชีวิตได้ดีกว่าเมื่ออยู่ในถังเติมอากาศหลักที่มีสารอาหารคาร์บอนภายนอกเซลล์ต่ำมาก

Albertson (1991) ได้รวบรวมผลจากการศึกษาของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ใช้ถังคัดพันธุ์ในสภาวะต่างๆ เพื่อควบคุมการเกิดสลัดจ์ไม่จมตัวจากระบบขนาดทดลองและระบบที่ใช้จริง 12 แห่งในอเมริกา แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 , 2.2 , 2.3

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดจำเพาะของถังคัดพันธุ์

(Albertson,1991)

สภาวะแวดล้อม	ข้อกำหนด
แอนแอโรบิค Anaerobic (A_N)	ไม่มีการเติมออกซิเจนหรืออากาศ,ออกซิเจนละลายมีน้อยมาก NO_XN ของน้ำเสียเข้าระบบ < 0.5 มก./ล
แอนนอกซิก Anoxic (A_X)	ไม่มีการเติมออกซิเจนหรืออากาศ,ออกซิเจนละลายมีน้อยมาก NO_XN ของน้ำเสียเข้าระบบ $\geq$ 0.5 มก./ล.
แอโรบิค Aerobic (A)	เติมออกซิเจนหรืออากาศ ออกซิเจนละลาย $\geq$ 0 มก./ล.
ออกซิก Oxic (O_X)	เติมออกซิเจนหรืออากาศ ออกซิเจนละลาย $\geq$ 1 มก./ล.
F/M สูง	$\geq$ 3 กก. BOD_5/กก. MLSS.วัน ในช่องแรกของถังปฏิกิริยา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ผลการวิจัยการควบคุมการไม่จมตัวของสลัดจ์

(Albertson,1991)

ผู้วิจัย	ประเภทของถังคัดพันธุ์*	ลักษณะการป้อนน้ำเสีย	ออกซิเจนละลาย (มก./ล.)	F/M วัน$^{-1}$	SVI มล./ก.
Davidson,1959	A_N	ต่อเนื่อง	0.0	1.0	34
Bhatia,1967	A_L	ต่อเนื่อง	0.0	>2.5	<120
British WPRL,1969	A	ต่อเนื่อง	ไม่ทราบค่า	0.8	<75
Mibury,1971	A_L	ต่อเนื่อง	0.0	>2.0	<100
Chudoba,1973	A_L	ต่อเนื่อง	≤ 0.5	≥ 2.5	<100
Heide&Pasveer,1973	A_N / A_X	ต่อเนื่องและแบทช์	0.0	>5.0	<100
			0.0	∞	40
Rensink,1974	A	ต่อเนื่อง	ไม่ทราบค่า	3.6	<100
Tomlison,1976	A	ต่อเนื่อง	ไม่ทราบค่า	>2.0	≤ 100
Spector,1977	A_N	ต่อเนื่อง	≤ 0.7	>3.0	<100
Chudoba&Wanner,1988	A_H	ต่อเนื่อง	1.0	12.0	<50

* รายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.1

A_H = ออกซิเจนละลายในถังคัดพันธุ์ $\leq$ 0.3 มก./ล. (ถือว่ามีค่าต่ำ)

A_L = ออกซิเจนละลายในถังคัดพันธุ์ $\geq$ 2.0 มก./ล. (ถือว่ามีค่าสูง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 ผลการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย

(Albertson,1991)

ระบบบำบัดน้ำเสีย	ชนิด	ออกซิเจนละลาย (มก./ล.)	F/M	SVI (มล./ก.)	
				ช่วง	เฉลี่ย
Hatfield,PA	A_X-O_X	0.0	0.13	46-70	55
Tri City,OR	A_X-O_X	0.0	0.6-1.3	50-90	75
Southerly,OH	A_X-A_N-O_X	0.0	4.5,2.3,1.0	58-128	84
Vineland,NJ	A_X-O_X	0.0	0.75	80-260	140
Jackson Pike,OH	A_L-O_X	$\leq$0.3	4,2	52-90	75
Davenport,IA	A_L-O_X	$\leq$0.4	0.94	61-210[a]	92
Tree Top,WY	A_N-O_X/O_X[b]	0.0		40-70	50
	A_N-O_X[c]	0.0	1.8		
Star Valley	A_N-O_X	0.0		25-100	70
Coop,WY	A_N-A_X-O_X	0.0	1.6,0.8,0.5	85-201	124
Newark,FL	A_N-A_X-O_X-A_X-O_X	0.0	0.35-0.8	89-177	127
ESA.FL	A_H-O_X	1.0	12,6,4,3	47-65	56
Middletown,OH	O_X-A_X-0_X	$\geq$0.7	0.3-0.8	60-300	110
OWASA,NC					

A_N = แอนแอโรบิค

A_X = แอนนอกซิก

O_X = ออกซิก

A_H = ออกซิเจนละลาย $\geq$ 2.0 มก./ล.

A_L = ออกซิเจนละลาย $\leq$ 0.3 มก./ล.

(a) ในช่วงการทดลองเติมอากาศ SVI จะมีค่าสูงตลอดการทดลอง โดย SVI มีค่าเท่ากับ 125-210 มล./ก.

(b) ทำการศึกษาในแบบจำลองแบบแบทช์สำหรับการทดลองแอนนอกซิก-ออกซิก และออกซิก

(c) ทำการศึกษาในระบบจริงที่มีการป้อนน้ำเสียแบบต่อเนื่อง

จากผลการทดลองที่รวบรวมในตารางที่ 2.2 และ 2.3 เห็นได้ว่า

1. การควบคุมค่า F/M ในถังคัดพันธุ์จากค่าสูงไปยังค่าต่ำ สามารถควบคุมการกำเนิดสลัดจ์ไม่จมตัวได้

2. ค่า F/M ในถังคัดพันธุ์ควรมีค่าสูง (มากกว่า วัน$^{-1}$)

3. ทฤษฎีการลดค่าสารอาหารตามลำดับ (F/M gradient) ยังเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมการเกิดสลัดจ์ไม่จมตัวทุกสภาวะแวดล้อม (A_N , A_X , O_X)

Jiri Wanner (1994) ได้สรุปการป้องกันการเกิดสลัดจ์ไม่จมตัวโดยการใช้ถังคัดพันธุ์ได้ดังนี้

- ถังคัดพันธุ์แบบออกซิก จะออกแบบที่เวลากักน้ำเท่ากับ 10-20 นาที หรือค่า F/M เท่ากับ 3-5 กก./กก.วัน (BOD_5,X) , 20 กก./กก.วัน (COD,X_{org})
- ถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิก จะเป็นเช่นเดียวกับถังคัดพันธุ์แบบออกซิก
- ถังคัดพันธุ์แบบแอนแอโรบิค จะออกแบบที่เวลากักน้ำเท่ากับ 0.5-1 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย