พระมหากรุณาธิคุณ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ทฤษฎี

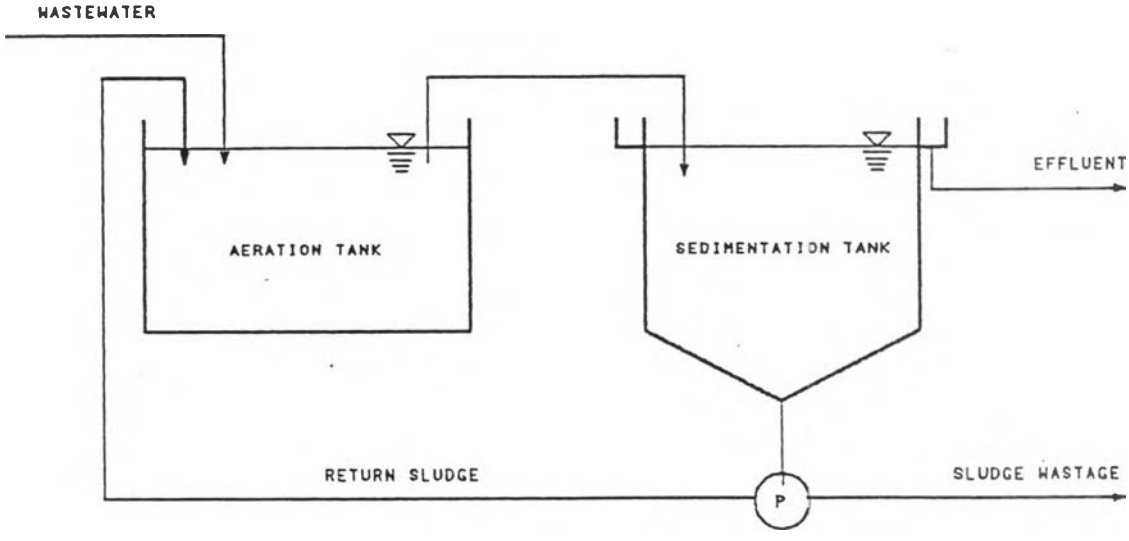
3.1 องค์ประกอบ และลักษณะการทำงานโดยลังเซปของระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์

ในรอบหลายทศวรรษที่ผ่านมา ระบบกำจัดน้ำเสียแอคติเวเต็ดสลัดจ์ได้ถูกพัฒนาและเปลี่ยนแปลงรูปแบบให้แตกต่างกันหลายแบบ ทั้งทางด้านลักษณะถังเติมอากาศ การป้อนน้ำเสีย และการเวียนตะกอนกลับ แต่อย่างไรก็ตามทุกๆแบบจะมีหลักการเดียวกัน กล่าวคือระบบจะต้องประกอบด้วยถังปฏิกิริยา (ถังเติมอากาศ) และถังตกตะกอน มีการป้อนน้ำเสียเข้าและการนำตะกอนเวียนกลับ (ตามรูปที่ 3.1) น้ำเสียจะถูกสูบเข้าสู่ถังเติมอากาศซึ่งได้ควบคุมสภาวะแวดล้อมให้มีความเหมาะสมสำหรับการดำรงค์ชีวิตของแบคทีเรีย เพื่อให้แบคทีเรียในระบบย่อยทำลายอินทรีย์สารที่เป็นมลสารในน้ำเสีย และเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว

แบคทีเรียในถังเติมอากาศซึ่งมีเป็นจำนวนมาก จะจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนเรียกว่าฟลอค ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนปุยของแบคทีเรีย มีสีน้ำตาลขนาดเล็กๆ และจะถูกส่งต่อไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนแบคทีเรียออกจากน้ำที่กำจัดแล้ว

น้ำที่ผ่านการกำจัดความเน่าเสียและถูกแยกตะกอนแบคทีเรียแล้ว จะล้นออกจากถังตกตะกอน เป็นน้ำทิ้งออกจากระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ โดยมีค่าบีโอดีต่ำและเป็นน้ำใส

ส่วนตะกอนแบคทีเรียที่ถูกแยกออกจะจมลงสู่ก้นถังตกตะกอน และถูกสูบกลับเข้าไปในถังเติมอากาศ (retrun sludge) เพื่อรักษาปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศให้มีค่าคงที่และตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย จะถูกนำออกจากระบบเพื่อรักษาอายุตะกอนให้มีความเหมาะสมในการควบคุมระบบ



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์

3.2 ปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์

กระบวนการแอคติเวเต็ดสลัดจ์ เป็นการกำจัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีววิทยา ซึ่งต้องอาศัยจุลชีพชนิดต่างๆที่สามารถเจริญเติมโตได้ในน้ำ และใช้ออกซิเจนอิสระ (aerobic microorganisms) ในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์บางชนิดที่มีอยู่ในน้ำเสีย สุดท้ายจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ พลังงาน และเซลล์ตัวใหม่ ปฏิกิริยาทางชีวเคมีของระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{สารอินทรีย์} + \text{ออกซิเจน} \xrightarrow[\text{เอ็นไซม์}]{\text{จุลชีพ}} \text{คาร์บอนไดออกไซด์} + \text{น้ำ} + \text{พลังงาน} \quad \text{-------} \ [1]$$

$$\text{สารอินทรีย์} + \text{ฟอสฟอรัส} + \text{ไนโตรเจน} + \text{ออกซิเจน} \xrightarrow{\text{จุลชีพ}} \text{คาร์บอนไดออกไซด์} + \text{น้ำ} + \text{เซลล์ใหม่} + \text{พลังงาน} \quad \text{-------} \ [2]$$

โดยพลังงานที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสมการที่ [1] จะถูกจุลชีพนำไปใช้เพื่อสร้างเซลล์ใหม่ตามสมการที่ [2]

จากสมการดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์บางชนิดไปเป็นเซลล์ของแบคทีเรีย ที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ และสามารถถูกแยกออกจากน้ำได้ด้วยการตกตะกอนในถังตะกอน

3.3 การเกิดแอคติเวเต็ดจ์

การเกิดแอคติเวเต็ดสลัดจ์มีขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน 3 ขั้นตอน ซึ่งทั้งหมดนี้จะเกิดขึ้นภายในถังเติมอากาศคือ

3.3.1 ขั้นส่งถ่าย (Transfer Step)

ขั้นแรกแบคทีเรียในถังเติมอากาศจะดูดสารอินทรีย์ในน้ำเสียมาไว้ที่ผนังเซลล์ และส่งเอ็นไซม์ที่มีความเหมาะสมกับชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์ให้มีโมเลกุลเล็กลงพอที่จะซึมผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ได้ โดยขั้นตอนนี้จะกินเวลาประมาณ 15-30 นาที เพื่อให้แบคทีเรียมีเวลาสัมผัสกับน้ำเสียได้เพียงพอและทั่วถึง

3.3.2 ขั้นเปลี่ยนรูป (Conversion Step)

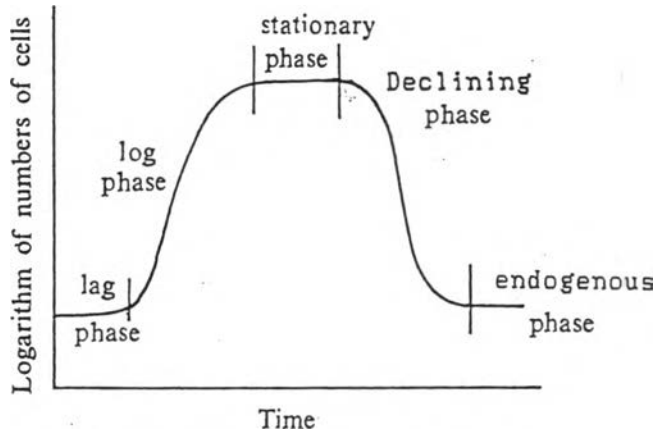
เมื่อสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกย่อยและดูดซึมเข้าสู่ภายในเซลล์แล้ว แบคทีเรียจะเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ที่อยู่ภายในเซลล์ด้วยกระบวนการออกซิเดชั่น (Oxidation) ซึ่งในขั้นนี้แบคทีเรียต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในกระบวนการ และได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ พลังงาน และสร้างเซลล์ใหม่ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ (Synthesis) กระบวนการทั้งสองนี้เป็นกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์ของแบคทีเรีย (Metabolic Process)

3.3.3 ขั้นรวมตะกอน (Flocculation Step)

เมื่อแบคทีเรียได้ใช้สารอินทรีย์ในขั้นที่สองไปบางส่วน จนเหลือสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นอาหารจำกัด แบคทีเรียจะมีพลังงานลดลง ขณะเดียวกันแบคทีเรียจะถูกการกวนผสมในถังเติมอากาศทำให้เซลล์ของมันชนกัน และจับตัวรวมกันเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้นเรียกว่า ฟลอค (Floc) ซึ่งมีความสามารถในการตกตะกอนได้ดีกว่าเซลล์เดี่ยวๆ ทำให้แบคทีเรียในขั้นนี้สามารถแยกตัวออกจากน้ำที่กำจัดแล้วได้ง่าย

3.4 <u>การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย</u>

ถ้าสภาวะแวดล้อมไม่ขัดต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และอาหารเสริมมีเพียงพอ การเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่เป็นพลังงาน โดยสามารถแบ่งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียออกได้เป็น 5 ช่วง ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การเจริญเติบโตของแบคทีเรียในถังปฏิกริยาแบบทำงานเป็นครั้ง

ช่วงที่ 1 การเพิ่มจำนวนต่ำ (Lag Phase) เป็นช่วงที่แบคทีเรียต้องใช้เวลาในการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมและเริ่มคุ้นเคยกับน้ำเสีย โดยสร้างเอ็นไซม์ที่เหมาะสมในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

ช่วงที่ 2 การเพิ่มจำนวนสูง (Log Phase) เนื่องจากมีปริมาณอาหารเป็นจำนวนมาก ทำให้แบคทีเรียสามารถนำอาหารไปใช้และเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว แบคทีเรียจะมีจำนวนมากและเจริญเติบโตกระจายเป็นเซลล์อิสระไม่รวมเป็นฟลอคที่ดี น้ำออกในช่วงนี้จะมีสารอินทรีย์เหลืออยู่เป็นจำนวนมากเป็นเหตุให้คุณภาพน้ำทิ้งมีบีโอดีสูงและมีตะกอนแบคทีเรียแขวนลอยทำให้น้ำทิ้งขุ่น

ช่วงที่ 3 การเจริญเติบโตคงที่ (Stationary phase) เป็นช่วงที่ประชากรของแบคทีเรียมีค่าสูงสุด และจะคงที่เนื่องจากเกิดสภาวะสมดุลย์ระหว่างการเพิ่มจำนวนและการตาย เพราะอาหารถูกใช้ไปจนมีเหลืออยู่จำกัด

ช่วงที่ 4 การเจริญเติบโตลดลง (Declining Phase) เป็นช่วงที่อาหารถูกใช้ไปจนเริ่มขาดแคลนทำให้เซลล์แบคทีเรียมีพลังงานต่ำ ในช่วงนี้อัตราการตายจะมีค่ามากกว่าการเจริญเติบโต แบคทีเรียจะเกาะตัวรวมกันเป็นฟลอคมีน้ำหนักมากขึ้น และตกตะกอนได้ดีทำให้น้ำทิ้งออกมีคุณภาพดีและใส

ช่วงที่ 5 แบคทีเรียจะขาดอาหารและตาย (endogenous phase) ในช่วงนี้จะไม่มีอาหารเหลืออยู่เลย เมื่อแบคทีเรียได้ใช้อาหารที่เก็บสะสมไว้ภายในเซลล์จนหมดก็จะตาย และเซลล์จะแตกออกกลายเป็นอาหารของแบคทีเรียตัวอื่นที่ยังมีชีวิตอยู่

3.5 <u>จุลชีววิทยาของแอคติเวเต็ดสลัดจ์</u>

จุลชีพที่มีอยู่ในระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ สามารถจำแนกออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. จุลชีพสร้างฟลอค (Floc Forming Microorganisms) เป็นจุลชีพที่มีบทบาทสำคัญมากในระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ เพราะเป็นจุลชีพหลักที่ใช้ในการกำจัดน้ำเสีย และสามารถจับตัวรวมกันเป็นกลุ่มก้อน แยกตัวออกจากน้ำที่บำบัดแล้วได้ง่ายเรียกว่า ฟลอค จุลชีพประเภทนี้ส่วนใหญ่ได้แก่ แบคทีเรีย และ โปรตัวชัว พังไจบางชนิด

2. แซฟโปรไฟท์ (Shprophytes) เป็นจุลชีพที่รับผิดชอบต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ส่วนใหญ่ของจุลชีพกลุ่มนี้ได้แก่แบคทีเรีย ซึ่งมักเป็นพวกสร้างฟลอค แซฟโปรไฟท์สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 ชนิดคือ แซฟโปรไฟท์แบบปฐมภูมิ (primary) ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสับสเตรทให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก แซฟโปรไฟท์แบบทุติยภูมิ (secondary)ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็กที่สร้างโดยแซฟโปรไฟท์แบบปฐมภูมิให้สมบูรณ์ และได้ผลสุดท้ายของปฏิกิริยาคือ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ

3. จุลชีพทำลาย (Predator) เป็นจุลชีพที่กินจุลชีพด้วยกันเองเป็นอาหาร ซึ่งจุลชีนชนิดนี้มีขนาดใหญ่กว่าหรือมีศักยภาพที่สูงกว่า จะกินจุลชีพที่มีขนาดเล็ก ทำให้จุลชีพทำลายมีความสำคัญกับระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ กล่าวคือช่วยทำให้น้ำออกจากระบบกำจัดใส

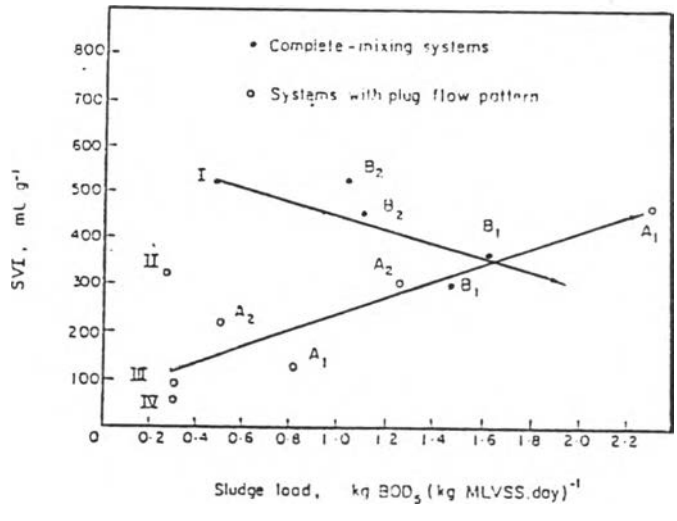
4. จุลชีพก่อกวน (Nuisance Microorganisms) เป็นจุลชีพที่ทำให้เกิดปัญหาในการทำงานของระบบกำจัดน้ำเสียแบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์เช่น แบคทีเรียชนิดที่เป็นเส้นใย หรือพังไจบางชนิดที่มีรูปร่างยาวคล้ายเส้นใย ทำให้เกิดการจมตัวไม่ลงของตะกอน

3.6 องค์ประกอบที่มีผลต่อการทำงานของแอคติเวเต็ดสลัดจ์

3.6.1 ออร์แกนิคโหลดดิ้ง

ออร์แกนิคโหลดดิ้ง เป็นอัตราส่วนปริมาณสารอาหารต่อปริมาณเซลล์ของแบคทีเรีย หรือเรียกได้ว่าเป็น Food to Microorganism Ratio (F/M) ค่าออร์แกนิคโหลดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าอายุของตะกอน (Sludge Age) การเปลี่ยนแปลงค่าออร์แกนิคโหลดจะทำให้อัตราส่วนของจำนวนแบคทีเรียแต่ละชนิดที่มีอยู่ในแอคติเวเต็ดสลัดจ์เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะมีผลต่อค่าดัชนีปริมาตรของตะกอน

Chudoba และคณะ (3) พบว่าค่าออร์แกนิคโหลดมีผลโดยตรงต่อค่าดัชนีปริมาตรตะกอน และมีความสัมพันธ์กับลักษณะการไหลทางชลศาสตร์ของน้ำในถังเติมอากาศ ถ้าลักษณะการไหลของน้ำในถังเป็นแบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed) ค่าดัชนีปริมาตรตะกอนจะลดลงเมื่อออร์แกนิคโหลดเพิ่มมากขึ้น และถ้าลักษณะการไหลเป็นแบบตามแนวยาว (Plug Flow) กลับพบว่าค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อออร์แกนิคโหลดเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าออร์แกนิคโหลด และค่าดัชนีปริมาตรของตะกอน

ระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์แบบธรรมดา ที่ได้รับสารอาหารมากเกินกว่าที่แบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคกินได้หมดจะมีสารอาหารเหลือสำหรับแบคทีเรียชนิดเส้นใย ดังนั้นระบบที่ได้รับออร์แกนิคโหลดสูง หรือ F/M สูงเกินไปจึงอาจเกิดปัญหาการจมตัวไม่ลงของตะกอน (1)

3.6.2 อาหารเสริม

จุลชีพในระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ต้องการอาหารเสริม (Nutrients) ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เหล็ก และธาตุอาหารอื่นๆเช่น ถ้าในระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ขาดแมกนีเซียมจะทำให้จุลชีพไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดี (4) การขาดอาหารเสริมที่สำคัญเหล่านี้จะทำให้จุลชีพชนิดสร้างฟลอคเติบโตได้ไม่ดี และทำให้จุลชีพที่เป็นเส้นใยเจริญเติบโตได้ดีกว่า

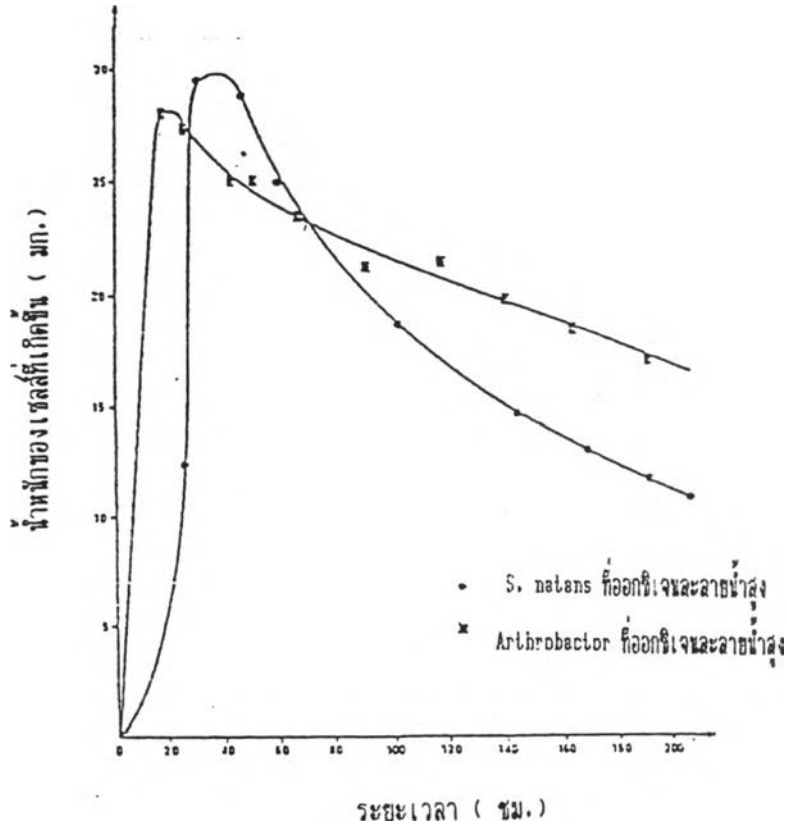
ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นอาหารเสริมหลักที่จำเป็นสำหรับจุลชีพ เพราะจุลชีพจะนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการสร้างเซลล์ โดยทั่วไปอัตราส่วนของ BOD:N:P ควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 100:5:1 มิฉะนั้นอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดจุลชีพที่เป็นเส้นใยได้

เหล็กเป็นธาตุที่สำคัญและจำเป็นในกระบวนการชีวเคมีของจุลชีพที่ใช้ออกซิเจน ในระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์จะต้องมีอัตราส่วน BOD:Fe ไม่ต่ำกว่า 100:0.5 (5) หากพบว่าในระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์มีธาตุเหล็กไม่พอ อาจเติมได้ในรูปของเกลือเฟอรัส หรือเฟอริค ซึ่งสามารถช่วยให้ตะกอนจมตัวได้ดีขึ้นเนื่องจากธาตุเหล็กทำให้ปฏิกริยาชีวเคมีของจุลชีพที่สร้างฟลอคเป็นไปได้สมบูรณ์ขึ้น และเกลือของเหล็กเป็นสารที่สร้างฟลอค (Flocculant) ทำให้ตะกอนรวมตัวกันได้ดีขึ้น ส่งผลให้ตะกอนจมตัวได้ดีขึ้น ประการสุดท้ายเกลือของเหล็กทำปฏิกริยากับฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของสารละลาย เกิดเป็นเฟอริคฟอสเฟตที่เป็นตะกอน (Precipitate) และแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคสามารถนำไปใช้ได้ดีกว่าแบคทีเรียที่เป็นเส้นใย (5)

3.6.3 ออกซิเจนละลายน้ำ

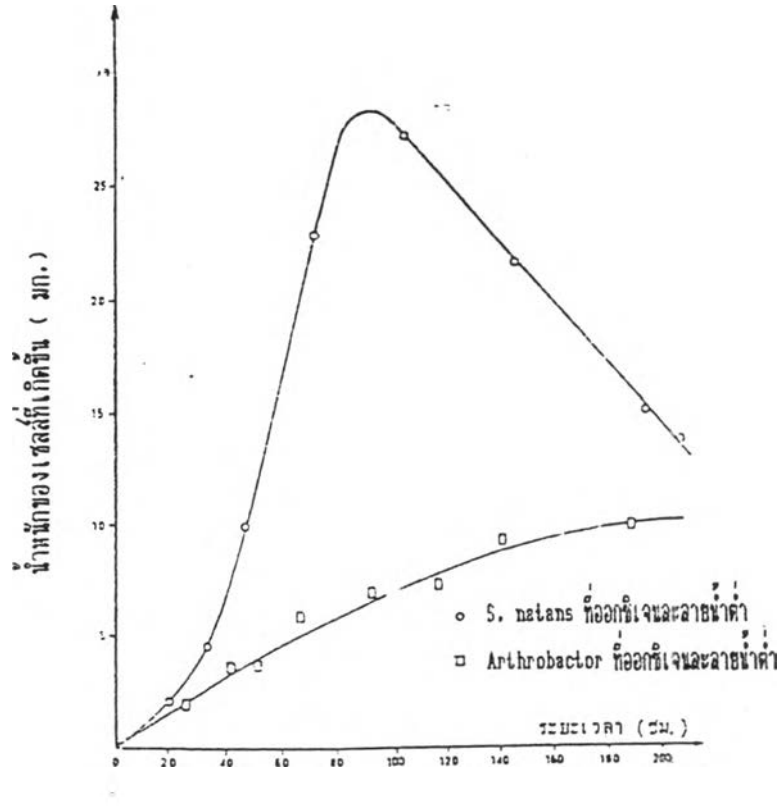
ในระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ แบคทีเรียต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการดำรงชีวิตและสังเคราะห์เซลล์ใหม่ โดยทั่วไปค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ (DO.)ในถังเติมอากาศมีค่าประมาณ 1 - 2 มก./ล. ซึ่งปริมาณของอากาศที่ใช้เพื่อรักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงก็จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนมาก เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง แบคทีเรียมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น จึงทำให้ความต้องการออกซิเจนมีค่ามากขึ้นมาก

Adames (6) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของค่าออกซิเจนละลายน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ Sphaerotilus Natans ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดเส้นใยที่ทำให้เกิดการจมตัวไม่ลงของตะกอน และ Arthrobactor ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอค พบว่าในสภาวะที่มีค่าออกซิเจนละลายน้ำสูง Arthrobactor มีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่า ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และในสภาวะที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำ Sphaerotilus Natans ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดเส้นใยมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่า Arthrobacter ซึ่งเป็นแบคทีเรียสร้างฟลอค ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 การเจริญเติบโตของ Sphaerotilus Natans และ Arthrobacter ในสภาวะที่มีค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่สูง ที่อุณหภูมิ 25° ซ (6)

สาเหตุที่แบคทีเรียชนิดเส้นใยสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคในสภาพที่ค่าความเข้มข้นของสารอาหารต่ำ เนื่องจากในการทดลองนี้ออกซิเจนถูกกำหนดให้เป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโต จึงถือว่าออกซิเจนเป็นสารอาหาร (Substrate) ด้วย และอีกเหตุผลหนึ่งที่แบคทีเรียชนิดเส้นใยเจริญเติบโตได้ดีกว่า ก็เนื่องมาจากแบคทีเรียชนิดเส้นใยมีลักษณะของเซลล์เป็นเส้นยาวและหนาเพียง 1 - 10 μm ทำให้มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวของเซลล์ต่อปริมาณสูงมากกว่าแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอค ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 100 - 400 μm ดังนั้นแบคทีเรียชนิดเส้นใยจึงสามารถนำสารอาหารที่ความเข้มข้นต่ำมาใช้ได้ดีกว่าแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอค (7)



ระยะเวลา (ชม.)

รูปที่ 3.5 การเจริญเติบโตของ Sphaerotilus Natans และ Arthrobacter ในสภาวะที่มีค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ต่ำ ที่อุณหภูมิ 25° ซ (6)

3.6.4 <u>ค่าพีเอช</u>

โดยทั่วไปแล้วระดับพีเอชในถังปฏิกิริยาจะมีค่าลดต่ำลง เนื่องจากน้ำเสียมีสารบัฟเฟอร์ไม่พอเพียง จากการวิจัยของ Downing และคณะ (8) พบว่าการปล่อยให้ถังปฏิกิริยามีค่าพีเอชต่ำกว่า 6.0 เป็นเวลานานๆ จะมีผลให้ประสิทธิภาพของการกำจัดน้ำเสียลดลง ทั้งนี้เพราะการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเกิดขึ้นได้ไม่เต็มที่ นอกจากนั้นยังเป็นการเปิดโอกาสให้ฟังไจ หรือแบคทีเรียชนิดเส้นใยเจริญเติบโตและขยายพันธุ์จนเกิดการจมตัวไม่ลงของตะกอนได้ และส่งผลให้ระบบทำงานได้ไม่ดี และถ้าพีเอชมีค่าต่ำมากหรือสูงมากจะทำให้ระบบล้มเหลวได้ เนื่องจากกระบวนการออกซิเดชั่นและกระบวนการสังเคราะห์ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์มีการทำงานที่ผิดปรกติ โดยทั่วไปค่าพีเอชในถังเติมอากาศควรมีค่าพีเอชประมาณ 7.0 (9)

3.6.5 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาชีวเคมีในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียในระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ โดยแบ่งประเภทของแบคทีเรียตามความสามารถในการทำงานที่ระดับอุณหภูมิต่างๆได้ 3 ประเภทคือ Cryophillic , Mesophillic และ Thermophillic ซึ่งแบคทีเรียในแต่ละประเภทจะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 12-18 °C , 25-40 °C และ 55-65 °C ตามลำดับ และอุณหภูมิยังเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานและการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ เนื่องจากอุณหภูมิมีผลกระทบต่ออัตราการขนถ่าย (Diffusion) สารอินทรีย์และออกซิเจนเข้าสู่ภายในเซลของแบคทีเรีย นอกจากนี้พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ทางจลน์ศาสตร์ต่างๆ เช่น μ_m และ K_s Grady & Lim (10) ได้ทำการศึกษาการทำงานของแบคทีเรียใน Batch Reactor พบว่า μ_m และ K_s มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเนื่องจากความสามารถในการเร่งปฏิกริยาของเอ็นไซม์ลดลง

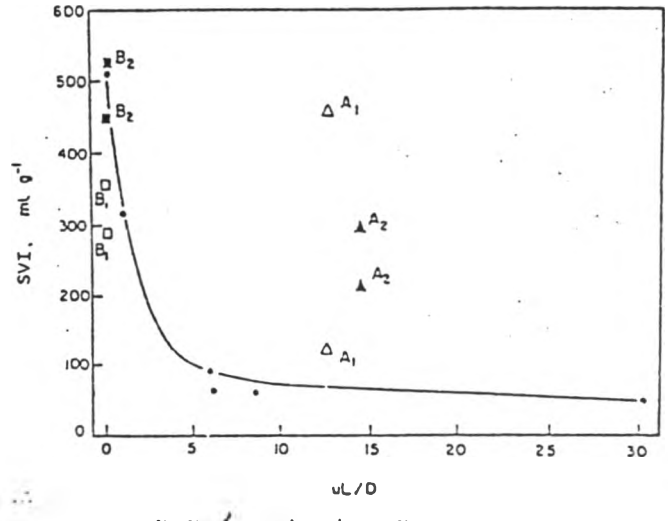
นอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิยังมีผลต่อการทำงานของถังตกตะกอนขั้นสอง ที่อุณหภูมิต่ำตะกอนจะจมตัวได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูง และถ้ามีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังตกตะกอนมากกว่า 2 °C. จะทำให้เกิดการไหลของน้ำในถังตกตะกอนเนื่องจากความหนาแน่นของน้ำมีค่าแตกต่างกันซึ่งเรียกว่า Density Current (11)

3.6.6 ลักษณะการไหลทางชลศาสตร์ในถังเติมอากาศ

ลักษณะของการไหลทางชลศาสตร์ภายในถังเติมอากาศ ก่อให้เกิดรูปแบบของระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ได้หลายแบบ และรูปแบบแต่ละชนิดจะมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพและการจมตัวของตะกอนแอคติเวเต็ดสลัดจ์ ลักษณะการไหลทางชลศาสตร์ในถังเติมอากาศแบ่งออกได้เป็นสองแบบใหญ่ๆได้แก่ แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed) และแบบไหลตามแนวยาว (Plug Flow) จากการศึกษาในอดีตทั้งจากในห้องปฏิบัติการและจากโรงบำบัดน้ำเสียมีข้อมูลมากพอที่จะกล่าวได้ว่า การไหลแบบกวนสมบูรณ์ที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าถังเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง เป็นสภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดเส้นใย และเกิดปัญหาตะกอนจมตัวไม่ลงในถังตกตะกอน (9)

017523

Chudoba และคณะ (12) ได้ทำการศึกษาระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ที่มีถังเติมอากาศสี่ใบต่อกันอย่างอนุกรม โดยถังเติมอากาศทั้งสี่ใบมีความแตกต่างขององศาการกวนน้ำที่ออร์แกนิคโหลดเดียวกัน พบว่าขณะที่ Dispersion Number ของอนุกรมของถังเติมอากาศทั้งสี่เป็น α , 1.06 , 0.17 และ 0.33 การเลี้ยงเชื้อผสม (Mixculture) ในระบบนี้ให้ค่าเฉลี่ยของดัชนีปริมาตรตะกอนเป็น 517 , 300 , 91 และ 51 มล./ก. ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าระบบการเติมอากาศที่มีองศาของการกวนน้ำต่ำ และมีค่า Dispersion Number ต่ำ จะทำให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างฟลอคเจริญได้ดีและขณะเดียวกันก็จะไประงับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแบบเส้นใย



รูปที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนกลับของ Dispersion number กับ SVI

3.7 <u>การวัดความสามารถในการจมตัวของตะกอนแอคติเวเต็ดสลัดจ์</u>

ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (Sludge Volume Index , SVI) เป็นค่าที่ใช้บอกถึงความสามารถในการจมตัวของตะกอนแบคทีเรียในถังเติมอากาศ ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{ดัชนีปริมาตรตะกอน (มล./ก.)} = \frac{\text{ค่าการตกตะกอนที่เวลา 30 นาที (มล./ล.)}}{\text{ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย MLSS (ก./ล.)}}$$

โดยทั่วไปแล้วถือว่าแอคติเวเต็ดสลัดจ์มีค่าSVIต่ำกว่า 50 มล./ก. แสดงว่าตะกอนสามารถจมตัวได้ดีมาก ถ้าSVIมีค่าระหว่าง 50 - 100 มล./ก. แสดงว่าตะกอนสามารถจมตัวได้ดีพอสมควร แต่ถ้าSVIมีค่าสูงกว่า 150 มล./ก. แสดงว่าตะกอนจมตัวได้ไม่ดีนักอาจมีปัญหาในการตกตะกอนได้ (9)

อย่างไรก็ตาม ค่าดัชนีปริมาตรตะกอนนี้เหมาะสำหรับใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแต่ละแห่งเท่านั้น และไม่สามารถนำข้อมูลที่ได้ในแต่ละแห่งมาเปรียบเทียบกันได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพ (MLSS) ซึ่งมีค่าไม่เท่ากันในการวัดแต่ละครั้ง ด้วยเหตุนี้ความสามารถในการจมตัวของตะกอนจึงไม่ควรดูจากค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเพียงอย่างเดียว แต่ควรจะตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์และมีการดูค่าการตกตะกอนที่เวลา 30 นาที (V_{30}) ประกอบกัน

ถ้าตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ แล้วพบแบคทีเรียชนิดเส้นใยจำนวนมากก็แสดงว่าอาจเกิดการจมตัวไม่ลงของตะกอน และการจมตัวไม่ลงของตะกอนอย่างรุนแรงจะทำให้ตะกอนจมตัวได้ช้ามาก และ (V_{30}) จะมีค่าสูงมากประมาณ 980 - 990 มล./ล.หรือมากกว่า (1)

3.8 จุลชีพชนิดที่เป็นเส้นใยในระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์

จุลชีพชนิดที่เป็นเส้นใยมักจะปะปนอยู่ทั่วไปในระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ โดยเฉพาะแบคทีเรียที่เป็นเส้นใยถ้ามีปริมาณไม่มากนักก็สามารถเป็นตัวช่วยยึดให้ฟลอคแข็งแรง แต่ถ้ามีปริมาณมากจนเป็นจุลชีพหลักในระบบแล้ว จะทำให้เกิดปัญหาในการแยกตะกอนจุลชีพออกจากน้ำที่ผ่านการกำจัดแล้วในถังตกตะกอน ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น

ได้มีผู้ค้นคว้าและวิจัยมาโดยตลอด จนในปัจจุบันได้พบจุลชีพชนิดเส้นใยที่มีอยู่ในระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ประมาณ 30 ชนิด แต่แบคทีเรียที่เป็นเส้นใยบางชนิดถึงแม้จะมีจำนวนมากก็พบว่าตะกอนจุลชีพยังสามารถตกตะกอนได้ดี เช่น Type 0914 , Flexibacter , Beggiatoa ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะรูปร่างของเส้นใย ส่วนแบคทีเรียที่ทำให้เกิดปัญหาตะกอนจมตัวไม่ลงได้แก่ Thiothrix , Toxothrix , Vitreoscilla , Lactic Acid Bacteriaและพวกราในกลุ่ม Actinomycetes

Vedry (13) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับนิเวศวิทยาในระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์และได้สรุปจุลชีพที่เป็นเส้นใยที่พบมาก ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 จุลชีพที่เป็นเส้นใยที่พบมากในระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ (13)

เชื้อจุลชีพ	Sphaerotilus Natans	Thiothrix Nivea	Beggiatoa Alba	Leptothrix Ochracea	Leptomitus Lacteus
ประเภทของจุลชีพ	- Schizomycetis - Chlamydobacteria	- Schizomycetis - Thiobacteria	- Schizomycetis - Thiobacteria	- Schizomycetis - Chlamydobacteria	- Fungi - Saprolagniacis
ความต้องการออกซิเจน	- เติบโตได้ในสภาวะที่มี DO ต่ำ - เติบโตได้ดีเมื่อมีค่า DO สูง	ต้องใช้ O_2 ในการสะสมกำมะถันใน Cytoplasm	ต้องใช้ O_2 เพื่อออกซิไดส์ H_2S	ต้องใช้ O_2 เพื่อออกซิไดส์ Fe^{2+} เป็น Fe^{3+}	ต้องใช้ O_2 ในการเจริญเติบโต
แหล่งของอาหาร	สารอินทรีย์ทั่วไป	สารประกอบกำมะถัน	ไฮโดรเจนซัลไฟท์		- สารประกอบไนโตรเจน - พบมากในน้ำเสียจากโรงงานนม
รูปร่างลักษณะ	- เป็นเซลล์เจริญเติบโตแยกเป็นอิสระ - เซลล์หนา 5-10 ม - เส้นใยแยกออกเป็นกิ่งก้านสาขา - เห็นเซลล์ได้ชัดเจน	- เป็นเซลล์เจริญเติบโตแยกเป็นอิสระ - เซลล์หนา 1.5 ม - แตกกิ่งก้านสาขาออกไปตรงๆ - สังเกตได้ยาก	- เซลล์มีขนาดเล็กไม่แตกกิ่งก้านสาขา - เส้นใยขดตัว	- เซลล์มีขนาดเล็ก - กว้าง 1 ม - ไม่แตกกิ่งก้านสาขา	- เซลล์หนา 10 ม - รูปร่างเป็นแท่งกลมยาว - แตกกิ่งก้านสาขาแบบ Dichotomial

ตารางที่ 3.1 จุลชีพที่เป็นเส้นใยที่พบมากในระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ (ต่อ)

เชื้อจุลชีพ	Sphaerotilus Natans	Thiothrix Nivea	Beggiatoa Alba	Leptothrix Ochracea	Leptomitus Lacteus
ลักษณะของโคโลนี	- เส้นใยเกาะอยู่กับฟลอค - สามารถรวมกันเป็นกลุ่มใหญ่หรือเล็กก็ได้	- โคโลนีมีสีขาว - เจริญเติบโตได้เป็นกลุ่มก้อน	- โคโลนีมีสีขาว - เจริญเติบโตได้เป็นกลุ่มก้อน	- มีเส้นใยสีขาวหรือออกแดงเนื่องจากการสะสม Fe^{3+}	- โคโลนีสีขาวหรือออกแดงเนื่องจากการสะสม Fe^{3+}

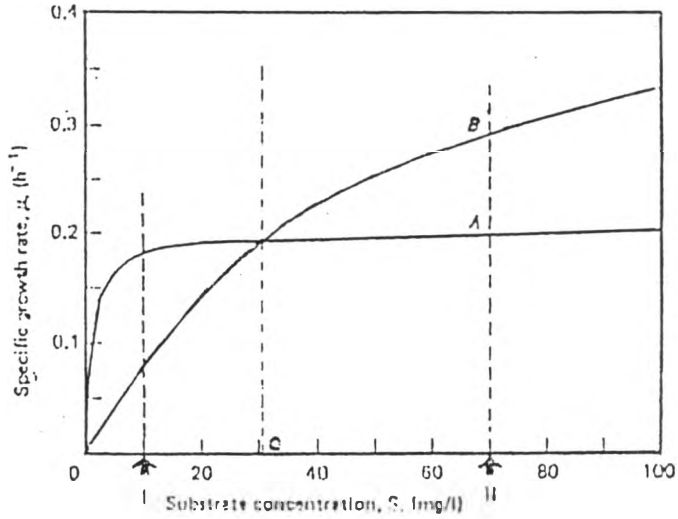
3.9 มูลเหตุของการใช้ถังเติมอากาศหลายใบ

ปัญหาหนึ่งที่มักพบอยู่เสมอและเป็นปัญหาสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ก็คือการเกิดตะกอนจมตัวไม่ลงในถังตกตะกอน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คืออัตราการจมตัวของตะกอนมีค่าต่ำ ทำให้เกิดการสะสมตัวของชั้นตะกอนสูงขึ้นจนกระทั่งมีตะกอนบางส่วนไหลปนออกไปกับน้ำทิ้งสุดท้าย

สาเหตุของการที่ตะกอนจมตัวไม่ลง ก็เนื่องมาจากมีแบคทีเรียชนิดที่เป็นเส้นใยเจริญเติบโตจนมีปริมาณมากในถังเติมอากาศและจับตัวกันเป็นร่างแหพยุงตะกอนไว้ ทำให้ตะกอนจมตัวช้าลงในถังตะกอน ส่งผลให้การแยกตะกอนไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แนวคิดวิธีหนึ่งที่เป็นไปได้ในการแก้ปัญหาการจมตัวไม่ลงของตะกอนก็คือ ต้องระวังมิให้แบคทีเรียชนิดที่เป็นเส้นใยเกิดขึ้น การป้องกันไม่ให้แบคทีเรียชนิดเส้นใยเกิดขึ้นได้ก็ต้องรักษาสภาวะให้เหมาะสม ทำให้แบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคเจริบเติบโตได้เร็วกว่าและมีจำนวนมากกว่าจนเป็นส่วนประกอบสำคัญของระบบ สภาวะที่จำเป็นต้องรักษาให้เหมาะสมได้แก่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัส และแร่ธาตุอื่นๆ ที่จำเป็น ที่สำคัญที่สุดคือต้องมิให้ระดับอาหาร (หมายถึง บิโอดีทั้งหมดหรือซีโอดีที่ย่อยสลายได้ด้วยแบคทีเรีย) ภายในถังเติมอากาศมีความเข้มข้นต่ำเกินไป (1)

จากผลการวิจัยของ Chudoba และคณะ (14) ในปี1973 - 1974 แสดงให้เห็นว่า อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่เป็นเส้นใยและชนิดสร้างฟลอค มีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของสับสเตรท (Substrate) สามารถอธิบายได้ด้วยรูปที่ 3.7 ที่ได้จากการใช้สมการของโมโนด (Monod Equation) ซึ่งจะเห็นได้ว่าแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอค (เส้นกราฟ B) มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่า และกินอาหารได้เร็วกว่าแบคทีเรียชนิดเส้นใย (เส้นกราฟ A) ยกเว้นที่ระดับอาหารต่ำ (ต่ำกว่าจุด C) อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดเส้นใยจะมีค่าสูงกว่าแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอค เนื่องจากน้ำเสียที่มีแป้ง หรือน้ำตาลเป็นส่วนประกอบหลัก สามารถถูกย่อยสลายได้ง่าย และหมดมากกว่าน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ประเภทอื่นๆเป็นส่วนประกอบ เช่นน้ำเสียจากที่อยู่อาศัย ทำให้ระดับอาหารที่เหลืออยู่ในถังเติมอากาศที่ถูกเลี้ยงด้วยแป้งหรือน้ำตาลมีค่าต่ำมาก จึงเป็นปัจจัยที่ทำให้แบคทีเรียชนิดเส้นใยเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอค



รูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะกับความเข้มข้นสับสเตรท

ดังนั้นการควบคุมระดับอาหารในถังเติมอากาศให้มีความเข้มเข้นสูง จะป้องกันไม่ให้แบคมีเรียชนิดเส้นใยเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว และมีจำนวนมากจนเป็นส่วนประกอบสำคัญของระบบ วิธีควบคุมสภาพดังกล่าวก็คือการใช้ถังเติมอากาศหลายใบต่อกันอย่างอนุกรม โดยที่ถังเติมอากาศใบแรกจะต้องออกแบบให้รับออร์แกนิคโหลดสูง แต่ต้องไม่มากจนเกินไปเพื่อให้แบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคได้รับอาหารทั้งหมดและเจริญเติบโตมากจนเป็นประชาจุลชีพหลัก การใช้ถังเติมอากาศหลายใบต่อแบบอนุกรมจะทำให้แบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคที่เกิดขึ้นถูกส่งต่อไปยังถังเติมอากาศใบอื่นๆ ทำให้ทั้งระบบมีแต่แบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคเป็นส่วนใหญ่ ด้วยวิธีการ

ที่กล่าวมาแล้ว แบคทีเรียชนิดเส้นใยจะไม่มีโอกาสเกิดขึ้นมากจนเป็นส่วนประกอบหลักของระบบ Chudoba (14) เรียกถังเติมอากาศใบแรกว่าซิเลคเตอร์ ซึ่งหมายถึงถังปฏิกริยาสำหรับคัดเลือกพันธุ์แบคทีเรีย ที่มีสภาวะโหลดดิ้งสูงสุดในอนุกรมถังเติมอากาศ (เนื่องจากถังเติมอากาศใบแรกมีขนาดเล็กที่สุด และมีน้ำเสียและตะกอนเวียนกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศใบแรก) ทำให้ความเข้มข้นสารอาหารและอัตราเร็วของปฏิกริยามีค่าสูงสุดในถังเติมอากาศใบแรก และอัตราเร็วของปฏิกริยาจะลดลงไปตามลำดับของอนุกรมถังเติมอากาศจนมีค่าต่ำสุดที่ใบสุดท้าย

3.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

CHUDOBA (14) ได้แสดงให้ทราบถึงทฤษฎีทางจลน์ศาสตร์ของการคัดเลือกพันธุ์ในการเลี้ยงเชื้อผสม โดยทฤษฎีที่กล่าวถึงนี้เป็นไปตามสมการของโมโนต (Monod Equation) ที่สันนิษฐานว่ามีความแตกต่างของค่าคงที่ของอัตราการเจริญเติบโต μ_m และ K_s สำหรับจุลชีพชนิดสร้างฟลอคและจุลชีพชนิดสร้างเส้นใย ซึ่งจะสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและความเข้มข้นของสับสเตรท สามารถแสดงได้จากสูตร

$$\mu = \frac{\mu_m * S}{K_s + S}$$

โดยที่ μ = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate , ชม.$^{-1}$)

μ_m = อัตราการเจริญเติบโตสูงสุด (Maximum growth rate , ชม.$^{-1}$)

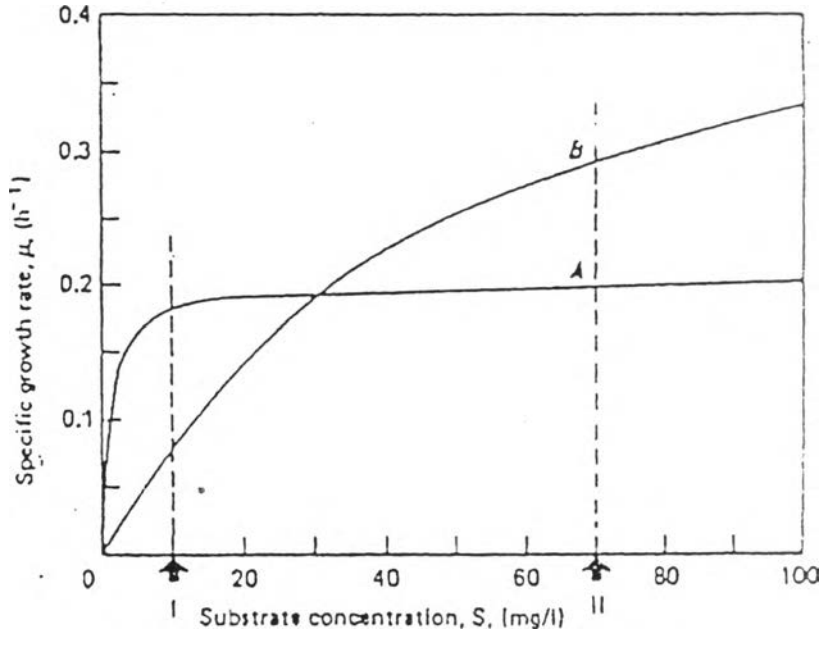
K_s = ค่าคงที่ของการเจริญเติบโต (Rate constant , มก./ล.)

S = ความเข้มข้นของสับสเตรต ที่เป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโต (Concentration of growth limiting substrate, มก./ล.)

โดยในเบื้องต้น Chudoba ได้ศึกษาข้อมูลของ Peil และ Grady (1971) ที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่าง μ_m และ k_s ที่มีความแตกต่างกันในการเลี้ยงเชื้อผสมด้วยน้ำตาลแลคโตส พบว่า จุลชีพชนิดสร้างฟลอคมีค่า μ_m = 0.53 ชม.$^{-1}$ และ K_s = 55 มก./ล. ส่วนจุลชีพชนิดเส้นใยมีค่า μ_m = 0.20 hr^{-1} และ K_s มีค่าต่ำมาก

เริ่มต้นจากข้อมูลดังกล่าว Chudoba ได้สร้างกราฟที่มีสมมุติฐานตามสมการของโมโนต โดยสมมุติว่าในเชื้อผสมประกอบด้วยจุลชีพเพียง 2 เผ่าพันธุ์ (Species) และให้เผ่าพันธุ์ A แทนจุลชีพชนิดเส้นใย มีค่าคงที่ในการเจริญเติบโต คือ $\mu_{m,A}$ = 0.20 ชม.$^{-1}$ และ $K_{s,A}$ = 1 มก./ล. เขียนแทนด้วยเส้นกราฟ A ส่วนเผ่าพันธุ์ B แทนจุลชีพชนิด

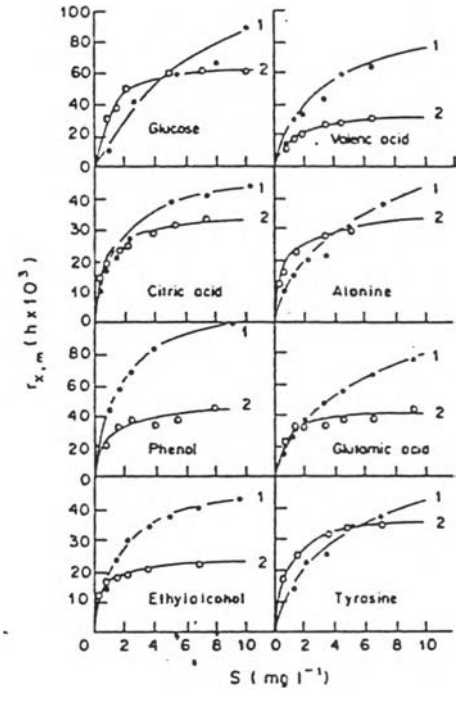
สร้างฟลอค มีค่าคงที่ในการเจริญเติบโต คือ μ_m , $_B$ = 0.50 ชม.$^{-1}$ และ K_s , $_B$ = 50 มก./ล. เขียนแทนเส้นกราฟ B ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ซึ่งจะเห็นว่าจุลชีพที่เป็นเส้นใยมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด (Maximum growth rate) ต่ำกว่าจุลชีพสร้างฟลอค แต่ในสภาพที่ค่าความเข้มข้นของสารอาหารต่ำ จุลชีพชนิดเส้นใยจะสามารถใช้สารอินทรีย์รวมทั้งมีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่สูงกว่า ในทำนองกลับกันที่สภาวะซึ่งมีค่าความเข้มข้นของสารอาหารสูง จุลชีพที่สร้างฟลอคจะสามารถใช้สารอาหารด้วยอัตราที่สูงกว่าจุลชีพที่เป็นเส้นใย และมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่สูงกว่าเช่นกัน



รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะกับค่าความเข้มข้นของสับสเตรทของจุลชีพที่เป็นเส้นใย (K_s = 1 mg/l , μ_m = 0.2 hr^{-1}) และจุลชีพที่สร้างฟลอค (K_s = 50 mg/l , μ_m = 0.5 hr^{-1})

จากเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้วจึงทำให้อธิบายได้ว่าทำไมระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ ที่มีลักษณะการไหลทางชลศาสตร์ในถังเติมอากาศเป็นแบบกวนสมบูรณ์ และมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารสูง มีค่าความเข้มข้นของสารอาหารต่ำตลอดทั้งถัง จึงเป็นระบบที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลชีพที่เป็นเส้นใย

Chudoba (15) ได้ทำการศึกษาระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ และแบบที่มีถังคัดเลือกพันธุ์ (ดังมีรายละเอียดในตารางที่ 3.2) เพื่อพิสูจน์ทฤษฎีทางจลน์ศาสตร์ในการคัดเลือกพันธุ์ ของเชื้อผสมที่ถูกเลี้ยงด้วยสารอาหารต่างชนิดกันได้แก่ glucose, galactose, acetic acid, valeric acid, citric acid, glutamic acid, alanine, phenol tyrosine , methylalcohol และ ethylalcohol ผลปรากฏว่าอัตราการกำจัดสารอาหารสูงสุด ($r_{x,m}$) และค่าคงที่ (K_s) ของระบบแอคติเวเต็จสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์มีค่าต่ำกว่าระบบแอคติเวเต็จสลัดจ์แบบที่มีถังคัดเลือกพันธุ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการกำจัดสับสเตรทสูงสุด ($r_{x,m}$) และสับสเตรทชนิดต่างๆ โดยที่ 1-เป็นระบบที่มีถังคัดเลือกพันธุ์ และ 2-เป็นระบบแบบกวนสมบูรณ์

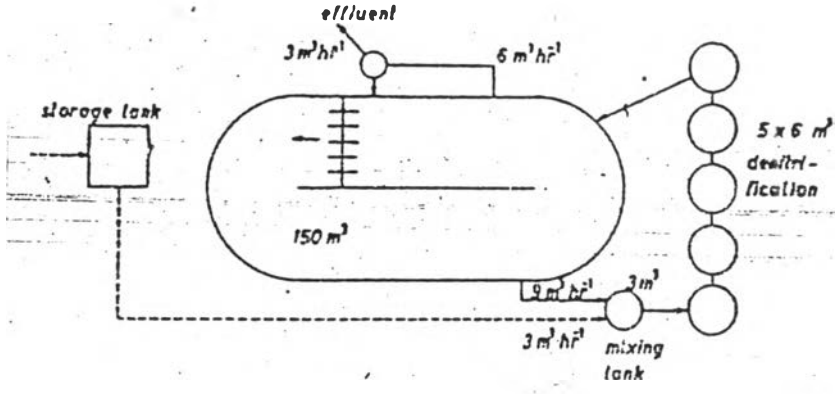
และจากผลการทดลอง พบว่าระบบที่มีถังคัดเลือกพันธุ์มีค่าเฉลี่ยของดัชนีปริมาตรตะกอนต่ำกว่า 100 มล./ก. ไม่ว่าน้ำเสียจะเป็นชนิดใด และระบบแบบกวนสมบูรณ์มีค่าเฉลี่ยของดัชนีปริมาตรตะกอนอยู่ในช่วง 130 - 1,000 มล./ก. ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสีย ดังแสดงในตารางที่

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ของระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์
ที่เลี้ยงด้วยน้ำเสียชนิดต่างๆ

Parameter	Selector system	Completely-mixed system
Aeration volume (l.)	6	6
Volume of settlers (l.)	1.5	1.5
Retention time (h)	24	24
Sludge age (day)	4.3	4.3
Recirculation ratio	1	1
MLSS ($g l^{-1}$)	1.54	1.51
SVI ($ml g^{-1}$)		
Period:		
GL	57 ± 28	~1000
CA	55 ± 15	~1000
PH	62 ± 13	296 ± 196
GA	70 ± 22	130 ± 25
Volumetric loading ($kg m^{-3} day^{-1}$)		
BOD basis	1	1
COD basis	1.5	1.5
Sludge loading ($kg kg^{-1} day^{-1}$)		
BOD basis	0.65	0.66
COD basis	0.97	0.99

นอกจากนั้น Chudoba ยังสรุปความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีปริมาตรตะกอนและซีโอดีละลายน้ำของการวิจัยครั้งนี้ว่า ถ้าซีโอดีละลายน้ำที่เหลือในถังเติมอากาศใบแรกมีค่าต่ำสุดไม่น้อยกว่า 30 มก./ล.แล้ว สามารถทำนายได้ว่าดัชนีปริมาตรตะกอนจะมีค่าน้อยกว่า 100 มล./ก.เสมอ

Heide และ Pasveer (1974) (16) ได้ทำการศึกษาปัญหาการจมตัวไม่ลงของตะกอนเนื่องจากแบคทีเรียชนิดเส้นใยในระบบกำจัดน้ำเสียแบบออกซิเดชั่นดิช พบว่าแม้ระบบออกซิเดชั่นดิช จะมีลักษณะการไหลเป็นแบบตามแนวยาวก็ตาม แต่ก็สามารถเกิดการจมตัวไม่ลงของตะกอนได้เนื่องจากการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง และในระบบกำจัดน้ำเสียหลายๆแห่งได้ยืนยันว่า หากเปลี่ยนแปลงลักษณะการป้อนน้ำเสียอย่างต่อเนื่องไปเป็นการป้อนน้ำเสียแบบเป็นระยะๆ จะทำให้การจมตัวของตะกอนดีขึ้นและSVIมีค่าลดลง และถ้าน้ำเสียถูกนำมาผสมกับน้ำตะกอนจากออกซิเดชั่นดิชก่อนป้อนเข้าระบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 จะทำให้ระดับอาหารในถังกวนผสมมีค่าสูงและแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคจากออกซิเดชั่นดิช สามารถดูดเข้าไปไว้ในเซลล์ในเวลาเพียง 2-3 นาที และทำให้แบคทีเรียสร้างฟลอคสามารถใช้อาหารส่วนใหญ่ และเจริญเติบโตมาก จึงส่งผลให้SVIมีค่าลดลงเร็วกว่าวิธีป้อนน้ำเสียแบบเป็นระยะ ๆ ซึ่งหากนำระบบนี้มาเปรียบเทียบกับระบบถังคัดเลือกพันธุ์ของ Chudoba (1973.b) จะเห็นว่ามีความคล้ายคลึงกันมาก เพียงแต่ Chudoba จะใช้หลักการเดียวกันนี้กับระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์แบบธรรมดา



รูปที่ 3.10 แสดงแผนผังการไหลระบบออกซิเดชั่นดิช
ของ Heide และPasveer

ชิติ เชี่ยวชาญวิทย์ (17) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการจมตัวของตะกอนแอคติเวเต็ดสลัดจ์จากถังเติมอากาศจำนวน 6 ถังเรียงต่อกันแบบอนุกรม ของโรงกำจัดน้ำเสียจากโรงงานเบียร์ บริษัท บุญรอดบริเวอรี่ จำกัด โดยน้ำเสียจะถูกป้อนเข้าสู่ถังเติมอากาศใบแรก และมีการเวียนตะกอนกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศใบที่ 1 ถึงใบที่ 3 ในการศึกษาครั้งนี้ชิติ เรียกถังเติมอากาศใบแรกที่มีค่าอัตราการกำจัดสารอาหารต่อมวลจุลชีพสูงสุด (2.8 กก. BOD/กก.MLSS-วัน) ว่าถังซีเลคเตอร์ และเรียกระบบของอนุกรมถังเติมอากาศว่าเป็นระบบ BFPAS (Bulking Free Process Activated Sludge) ผลการทดลองพบว่าโดยปรกติถังเติมอากาศใบแรกจะมีความเร็วในการตกตะกอนสูงสุด และความเร็วในการตกตะกอนจะค่อยๆลดลงมาตามลำดับของอนุกรมถังเติมอากาศ จนถึงถังเติมอากาศใบที่ 4 และตะกอนจะตกได้เร็วขึ้นอีกครั้งในถังเติมอากาศใบที่ 5 และใบที่ 6 ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบอีกว่าลักษณะของประชาจุลชีพในถังเติมอากาศแต่ละใบจะมีความแตกต่างกัน โดยในถังเติมอากาศใบแรกจะมีแบคทีเรียที่ทำให้เกิดก้อนปุย (floc fromer bacteria) มากที่สุด และเป็นการเจริญเติบโตแบบแผ่รกระจาย (dispersed growth) ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดความขุ่นภายหลังที่ทิ้งให้ตกตะกอน ในถังเติมอากาศใบถัดมาจะมีแบคทีเรียเส้นใยเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ส่วนในถังเติมอากาศใบสุดท้ายจะเริ่มพบจุลชีพในระดับสูงขึ้นเช่น โปรโตซัว , โรติเฟอร์

Daigger และคณะ (18) ได้ทำการศึกษาผลของถังคัดเลือกพันธุ์ (selector) เพื่อใช้ควบคุมการจมตัวไม่ลงของตะกอน และใช้สำหรับพัฒนาแนวทางเพื่อเตรียมการออกแบบทางวิศวกรรม สำหรับงานปรับปรุงระบบกำจัดน้ำเสียของเมือง Manassas และ Prince William ที่ตั้งอยู่ในรัฐ Northern Virginia ซึ่งแต่เดิมใช้ระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์กำจัดน้ำเสียจากชุมชนและจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยมักพบว่าเกิดการจมตัวไม่ลงของตะกอนระหว่างฤดูหนาวและ F/M ในถังเติมอากาศมีค่าต่ำ Daigger ทดลองใช้ถังคัดเลือกพันธุ์ขนาด 100 มล.จำนวน 3 ใบ และถังเติมอากาศขนาด 20 ล. จำนวน 1ใบ เรียงต่อกันแบบอนุกรม ควบคุมให้ออกซิเจนละลายน้ำมีค่าประมาณ 4 - 6 มก./ล. และรักษาอายุตะกอนของระบบเท่ากับ 12 วัน โดยแบ่งการควบคุมระบบออกเป็น 3 แบบคือ แบบแรกควบคุมอุณหภูมิของระบบให้เท่ากับ 22° ซ. และไม่ใช้ถังคัดเลือกพันธุ์ พบว่า SVI มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว แบบที่ 2 ควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าประมาณ 10° ซ.และไม่ใช้ถังคัดเลือกพันธุ์ พบว่า SVI มีค่าสูง และแบบที่ 3 ควบคุมอุณหภูมิให้มีค่า 10° ซ. และใช้ถังคัดเลือกพันธุ์ พบว่า SVI มีค่าลดลงและต่ำกว่าในแบบที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ จากผลดังกล่าวDaiggerสรุปว่าอุณหภูมิต่ำในฤดูหนาว เป็นสาเหตหนึ่งที่ทำให้เกิดการจมตัวไม่ลงของตะกอนในระบบกำจัดน้ำเสียแห่งนี้ และถังคัดเลือกพันธุ์มีผลต่อการควบคุมการจมตัวไม่ลงของตะกอนที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนั้น Daigger ยังศึกษาถึงขนาดของถังคัดเลือกพันธุ์ที่จะนำไปใช้ในงานนี้ว่า ขนาดของถังคัดเลือกพันธุ์ที่ได้ผลดีที่สุดควรมีเวลากักน้ำเท่ากับ 15 นาที

Chudoba (3),(1974), ได้ทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของการทดลองก่อนหน้านี้ (1973) เนื่องจากการทดลองเดิมจำกัดค่าสลัดจ์โหลดอยู่ในช่วงที่ต่ำ (0.3-0.4 กก.BOD/กก.MLVSS-วัน) ซึ่งจากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์อื่นๆพบว่าสลัดจ์โหลดและอายุตะกอน มีผลต่อการจมตัวของตะกอนในระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงทดลองที่ค่า สลัดจ์โหลดสูงและอายุตะกอนต่ำ โดยใช้ระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ที่มีรูปแบบการไหลแตกต่างกันคือ สองระบบแรกมีลักษณะการไหลแบบกวนสมบูรณ์ ส่วนอีกสองระบบมีลักษณะการไหลแบบตามแนวยาว ซึ่งมีค่า ดิสเพอร์ชั่น นัมเบอร์ เท่ากับ 0.08 และ 0.07 และใช้ส่วนผสมแป้งและpeptoneเป็นสารอาหาร ทุกระบบควบคุมอายุตะกอนที่ 2 และ 3 วัน และที่สลัดจ์โหลด 0.5 - 2.3 กก.BOD/กก.MLVSS-วัน ผลการทดลองปรากฏว่าที่สลัดจ์โหลดมากกว่า 0.5 กก.BOD/กก.MLVSS-วัน ดัชนีปริมาตรตะกอนจะมีค่าสูง แม้ว่าจะเป็นระบบที่มีลักษณะการไหลแบบตามแนวยาว และความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างจะมีค่าสูงพอเหมาะก็ตาม นั่นแสดงว่าระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ที่มีลักษณะการไหลแบบตามแนวยาวหรือค่าความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างไม่ใช่ปัจจัยเดียวที่ควบคุมการจมตัวไม่ลงของตะกอน และคงมีปัจจัยอื่นๆอีกที่มีผลต่อจำนวนและการคัดเลือกพันธุ์ของจุลชีพที่ สลัดจ์โหลดสูงและอายุตะกอนต่ำ นอกจากนั้นยังพบความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันระหว่างค่าดัชนีปริมาตรตะกอน กับสลัดจ์โหลดของระบบที่มีลักษณะการไหลที่แตกต่างกันคือ ในระบบที่มีลักษณะเป็นแบบกวนสมบูรณ์ ดัชนีปริมาตรตะกอนจะมีค่าต่ำลงเมื่อสลัดจ์โหลดสูงขึ้น ในขณะที่ระบบที่มีลักษณะการไหลเป็นแบบตามแนวยาว ดัชนีปริมาตรตะกอน จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อ สลัดจ์โหลดสูงขึ้น