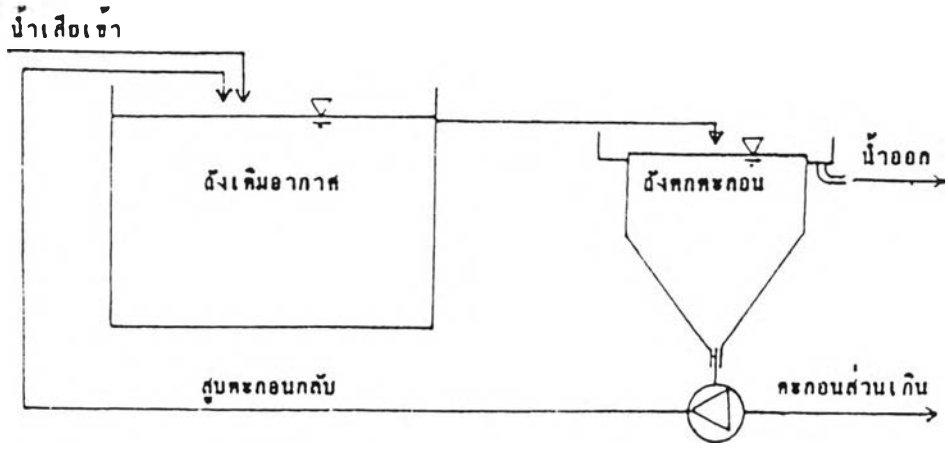
บทที่ 2

ทฤษฎีและรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการทำงานของกระบวนการตะกอนเร่ง

ระบบบำบัดน้ำเสียโดยตะกอนเร่งนั้นแบ่งออกเป็นแบบปลีกย่อยได้หลายแบบ แต่ทุกแบบมีหลักการเดียวกัน กล่าวคือ ระบบจะต้องประกอบด้วยถังปฏิกิริยา (ถังเติมอากาศ) และถังตกตะกอน (รูปที่ 2.1) น้ำเสียจะถูกสูบเข้าถังเติมอากาศซึ่งมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์เพื่อให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบทำลายมลสารในน้ำเสียและเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จุลินทรีย์ในถังเติมอากาศซึ่งมีจำนวนมากจนจับตัวกันเป็นฟลอคมีสีน้ำตาลเข้มเรียกว่าตะกอนเร่ง (activated sludge) ในถังเติมอากาศจะมีระบบเติมอากาศเพื่อทำหน้าที่ให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์ และช่วยกวนตะกอนจุลินทรีย์ให้อยู่ในลักษณะแขวนลอยกระจายทั่วถังเติมอากาศ น้ำที่ล้นออกจากถังเติมอากาศจะเป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลเข้าถังตกตะกอน เพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำทิ้ง น้ำทิ้งที่ล้นออกจากถังตกตะกอนจะเป็นน้ำใสที่มีค่า บีโอดี ต่ำ



รูปที่ 2.1 แผนผังการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียโดยตะกอนเร่ง

ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่จมอยู่ที่ก้นถังตกตะกอนส่วนใหญ่จะถูกสูบกลับเข้าไปในถังเติมอากาศ เพื่อรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศให้คงที่ ตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะถูกนำไปกำจัดต่อไป มลสารส่วนหนึ่งจะถูกทำลายกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอีกส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนเป็นตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินที่ต้องนำไปกำจัด

2.2 จุลชีววิทยาของระบบตะกอนเร่ง

กระบวนการตะกอนเร่งเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาซึ่งอาศัยปฏิกริยาทางชีวเคมีแบบใช้ออกซิเจนและใช้จุลินทรีย์แขวนลอยในการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในรูปสารละลายรูปคอลลอยด์ (colliods) หรือของแข็งแขวนลอย (suspended solids) ซึ่งผลสุดท้ายจะได้เซลใหม่ พลังงาน น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ ฯลฯ

จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในกระบวนการตะกอนเร่งสามารถจำแนกออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้ (1)

1. จุลินทรีย์ที่สร้างฟลอค (floc forming microorganisms) เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญมากในระบบ เพราะถ้าขาดมันแล้วเราไม่สามารถที่จะแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำทิ้งโดยวิธีตกตะกอนตามธรรมชาติได้ ส่วนใหญ่ของจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะเป็นแบคทีเรีย

2. แซฟโปรไฟท์ (saprophytes) เป็นจุลินทรีย์ที่มีหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจนถึงผลสุดท้ายของปฏิกิริยา อันได้แก่ คาร์บอนไดอ๊อกไซด์ น้ำ ฯลฯ ซึ่งจุลินทรีย์พวกนี้มีทั้งจุลินทรีย์ที่สร้างฟลอคและไม่สร้างฟลอค

3. จุลินทรีย์ทำลาย (predator) เป็นจุลินทรีย์ที่กินจุลินทรีย์ด้วยกันเอง ซึ่งชนิดที่ใหญ่กว่าหรือมีศักยภาพที่สูงกว่าจะกินชนิดที่เล็กกว่าและมีส่วนช่วยให้น้ำใส ตัวอย่างของจุลินทรีย์พวกนี้ ได้แก่ โปรโตซัว (protozoa) ซึ่งจับแบคทีเรียกินเป็นอาหาร นอกจากนี้ยังจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ อีก เช่น อมีบา (ameaba) โรติเฟอร์ (rotifer) หนอน (worm) เป็นต้น

4. จุลินทรีย์ก่อกวน (nuisance microorganisms) เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดปัญหาในการทำงานของระบบ เช่น แบคทีเรียที่เป็นเส้นใย หรือฟังไจ ซึ่งทำให้เกิดการไม่จมตัวของตะกอน

อนึ่งการจำแนกประเภทจุลินทรีย์ที่กล่าวมานี้เป็นการจำแนกอย่างกว้าง ๆ ดังนั้นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่ง ๆ อาจจัดอยู่ในประเภทต่าง ๆ ได้มากกว่าหนึ่งอย่างหรือบางชนิดอาจเปลี่ยนประเภทได้ถ้ามีแรงผลักดันภายนอกบางอย่างเกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อมัน

2.3 การวัดความสามารถในการจมตัวของตะกอนเร่ง

ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (sludge volume index , SVI) เป็นค่าที่ใช้กันแพร่หลายในการบอกถึงความสามารถในการจมตัวของตะกอนเร่ง ซึ่งค่าสามารถหาค่าได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (มล./ก.)} = \frac{\text{ปริมาตรของตะกอนเป็น มล. หลังจากตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 30 นาที ในกระบอกตวงขนาด 1 ล. (มล./ล)}}{\text{น้ำหนักของตะกอนจุลินทรีย์ MLSS (ก./ล.)}}$$

โดยทั่วไปแล้วถือว่าถ้าตะกอนเร่งมีค่า SVI ต่ำกว่า 50 มล./ก. แสดงว่าตะกอนเร่งสามารถจมตัวได้ดีมาก ถ้ามีค่าระหว่าง 50 - 100 มล./ล. แสดงว่าตะกอนเร่งสามารถจมตัวได้ดีพอสมควร แต่ถ้าสูงกว่า 150 มล./ก. แสดงว่าตะกอนจมตัวไม่ได้ดีอาจมีปัญหาในการตกตะกอนได้

อย่างไรก็ตามค่าดัชนีปริมาตรตะกอนนี้เหมาะสำหรับใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแต่ละแห่งเท่านั้น และไม่สามารถนำข้อมูลที่ได้ในแต่ละแห่งมาเปรียบเทียบกันได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS) ซึ่งมีค่าไม่เท่ากันในการวัดแต่ละครั้ง และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการทำงานได้ในกรณีที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศต่ำกว่า 4,000 มก./ล. เท่านั้น [2] ด้วยเหตุนี้ความสามารถในการจมตัวของตะกอนจึงไม่ควรดูจากค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเพียงอย่างเดียว ควรจะตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์และมีการดูค่า V_{30} ประกอบด้วย (ค่า V_{30} คือค่าปริมาตรของตะกอน (วัดเป็นมิลลิลิตร) ที่ทิ้งให้ตกตะกอนนาน 30 นาที ในกระบอกตวงขนาด 1000 มล.)

ถ้าตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายปกติ (400 เท่า) หากพบเส้นใยขนาดเล็กจำนวนมากก็แสดงว่าตะกอนเกิดอาการไม่จมตัว ส่วนค่า V_{30} นั้นตะกอนที่มีอาการไม่จมตัวอย่างรุนแรงจะตกตะกอนได้น้อย และค่า V_{30} จะมีค่าประมาณ 980 หรือ 990 มล. [3]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 จุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใยในกระบวนการตะกอนเร่ง

จุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใยมักจะมีปะปนอยู่ทั่วไปในตะกอนเร่งโดยเฉพาะแบคทีเรียที่เป็นเส้นใย ถ้ามันมีปริมาณไม่มากนักก็สามารถเป็นตัวช่วยยึดให้ฟลอคแข็งแรง แต่ถ้ามีปริมาณมากจนเป็นจุลินทรีย์หลักในระบบแล้วจะทำให้เกิดปัญหาในการแยกตะกอนเร่งออกจากน้ำที่บำบัดแล้วในถังตกตะกอน ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น

ได้มีผู้ค้นคว้าและวิจัยมาโดยตลอดจนในปัจจุบันได้พบจุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใยที่มีในกระบวนการตะกอนเร่งมีประมาณ 30 ชนิด [4] แต่แบคทีเรียที่เป็นเส้นใยบางชนิดถึงแม้จะมีจำนวนมากก็ยังพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ยังสามารถตกตะกอนได้ดี เช่น Type 0914 , Flexibacter , Beggiatoa [5] ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด และลักษณะรูปร่างของเส้นใย ส่วนแบคทีเรียที่ทำให้เกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัวได้แก่ Thiothrix , Toxothrix , Vitreoscilla , Lactic acid bacteria และพวกราในกลุ่ม Actinomycetes [6]

Vedry [7] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับนิเวศวิทยาในกระบวนการตะกอนเร่งและได้สรุปจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยที่พบมากไว้ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

2.5 สาเหตุที่ทำให้เกิดจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยที่ทำให้เกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัว

จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยที่ค้นพบแล้วมีอยู่หลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งรูปที่เป็นเส้นใยหรือรูปฟลอคปกติและแต่ละชนิดก็ต้องการอาหารและสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน รวมทั้งผลที่ทำให้เกิดตะกอนไม่จมตัวก็มีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นวิธีแก้ไขปัญหาตะกอนจมไม่ลงได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องทราบชนิดของจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย และรู้วิธีการกำจัดโดยอาศัยหลักการในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ชนิดนั้น ๆ

การที่เกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัวเนื่องจากจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยนั้นแสดงว่าจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าจุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อคจนเป็นจุลินทรีย์หลักที่มีปริมาณมาก ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดสภาวะเช่นนี้แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ สภาวะแวดล้อมในถังปฏิกิริยา ชนิดของสารอาหารในน้ำเสีย ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (organic loading) หรืออายุตะกอน (sludge age) และลักษณะการไหลทางชลศาสตร์ในถังปฏิกิริยา

ตารางที่ 2.1 จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยที่พบมากในกระบวนการตะกอนเร่ง (7)

เชื้อจุลินทรีย์	Sphaerotilus Natans	Thiothrix Nivea	Beggiatoa Alba	Leptothrix Ochracea	Leptomitus Lacteus
ประเภทของจุลินทรีย์	- Schizomycetis - Chlamydobacteria	- Schizomycetis - Thiobacteria	- Schizomycetis - Thiobacteria	- Schizomycetis - Chlamydobacteria	- Fungi - Saprolagniacis
ความต้องการออกซิเจน	- เจริญเติบโตได้ในสภาวะที่มี D.O. ต่ำ - เจริญเติบโตเมื่อมี D.O. สูง	ต้องใช้ O_2 ในการสะสมก้ำมะถันใน Cytoplasm	ต้องใช้ O_2 เพื่อออกซิไดส์ H_2S	ต้องใช้ O_2 เพื่อออกซิไดส์ Fe^{2+} เป็น Fe^{3+}	ต้องใช้ O_2 ในการเจริญเติบโต
แหล่งของอาหาร	สารอินทรีย์ทั่วไป	สารประกอบก้ำมะถัน	ไฮโดรเจนซัลไฟด์		- สารประกอบไนโตรเจน - พบมากในน้ำเสียจากโรงงานนม
รูปร่างลักษณะ	- เป็นเซลล์เจริญเติบโตแยกเป็นอิสระ - เซลล์หนา 5-10 µm - เส้นใยแยกออกเป็นกิ่งก้านสาขา - เห็นเซลล์ได้ชัดเจน	- เป็นเซลล์เจริญเติบโตแยกเป็นอิสระ - เซลล์หนา 1.5 µm - แตกกิ่งก้านสาขาออกไปครึ่ง ๆ - สังเกตได้ยาก	- เซลล์มีขนาดเล็กไม่แตกกิ่งก้านสาขา - เส้นใยขดตัว	- เซลล์มีขนาดเล็ก - กว้าง 1 - ไม่แตกกิ่งก้านสาขา	- เซลล์หนา 10 - รูปร่างเป็นแท่งกลมยาว - แตกกิ่งก้านสาขาแบบ dichotomial
ลักษณะของโคโลนี	- เส้นใยเกาะอยู่กันฟลอก - สามารถรวมกันเป็นกลุ่มใหญ่หรือเล็กก็ได้	- โคโลนีมีสีขาว - เจริญเติบโตได้เป็นกลุ่มก้อน	- โคโลนีสีขาว - เจริญเติบโตได้เป็นกลุ่มก้อน	- มีเส้นใยสีขาวหรือออกแดง เนื่องจากการสะสม Fe^{3+}	- โคโลนีมีสีขาวหรือออกแดง เนื่องจากการสะสม Fe^{3+}

2.6 วิธีการแก้ไขปัญหาตะกอนไม่จมตัว

วิธีการแก้ไขปัญหาตะกอนไม่จมตัวแบ่งออกได้ 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ 1) การแก้ไขตามสาเหตุที่เกิดขึ้น และ 2) การแก้ไขชั่วคราว เช่น การใช้สารเคมี เป็นต้น การแก้ไขแบบนี้เมื่อสารเคมีหมดฤทธิ์ปัญหาก็จะกลับคืนมาใหม่ ต่อไปนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการแก้ไขตามสาเหตุที่เกิดขึ้นเท่านั้น ซึ่งสาเหตุที่เกิดขึ้นอาจมีอย่างเดียวหรือหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาสาเหตุต่าง ๆ ที่จะกล่าวต่อไปนี้

2.6.1 สภาวะแวดล้อมในถังปฏิกิริยา

2.6.1.1 ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ

ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในถังเติมอากาศควรมีค่าประมาณ 2 มล./ล. ที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ไม่เกิน 0.6 g COD / g MLSS-day ซึ่งเป็นช่วงที่ตะกอนเร่งสามารถทำงานได้ดีและเป็นสภาวะที่จุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อคสามารถเจริญเติบโตได้ดี ถ้าหาก DO ต่ำหรือสูงเกินไปก็อาจจะเกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัวได้ อย่างไรก็ตามได้มีผู้เสนอวิธีการแก้ปัญหาตะกอนไม่จมตัวโดยการทำให้ตะกอนเร่งอยู่ในสภาวะที่ขาดออกซิเจน (anaerobic) เช่น Eckenfelder [8] เสนอให้นำตะกอนที่สูบกลับจากถังตกตะกอนมากักไว้ให้ขาดออกซิเจนประมาณ 6 ชั่วโมง ก่อนที่จะส่งเข้าถังเติมอากาศ ส่วน Bernard [9] ได้พบว่าการหยุดให้ออกซิเจนเป็นเวลา 1 วัน สามารถฆ่าจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยได้ ซึ่งการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการนี้คงสามารถใช้ได้เฉพาะกับจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยชนิดที่ต้องการออกซิเจนละลายน้ำอย่างเดียวในการดำรงชีพ (obligate aerobes) ดังนั้นการนำไปใช้ในการแก้ปัญหาจึงต้องระวังให้มากเพราะอาจทำให้ระบบไม่สามารถทำงานได้อีกเลยก็ได้

2.6.1.2 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นอาหารเสริมหลักที่จำเป็นสำหรับจุลินทรีย์ในการสร้างเซล อัตราส่วนของค่า BOD:N:P ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 100:5:1 มิฉะนั้นอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยได้

2.6.1.3 เหล็ก

เหล็กเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นและสำคัญในกระบวนการชีวเคมีของสิ่งมีชีวิตที่ใช้ออกซิเจน ในกระบวนการตะกอนเร่งต้องมีอัตราส่วน BOD:Fe ไม่ต่ำกว่า 200:1 [10] ในทำนองเดียวกันหากมีสารประกอบเหล็กอยู่มากเกินไปก็อาจทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยที่ใช้ธาตุเหล็กเป็นอาหารหลักเจริญเติบโตขึ้นเป็นจำนวนมากก็เป็นได้

2.6.1.4 ซัลไฟด์

การที่มีซัลไฟด์ (sulfides) อยู่ในน้ำเสียเป็นปริมาณสูงอาจทำให้เกิดตะกอนไม่จมตัวได้เนื่องจากมีจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยที่สามารถใช้ซัลไฟด์เป็นอาหาร เช่น Thiotrix sp. และ Beggiatoa sp. [11,12,13] การแก้ปัญหาที่จากสาเหตุนี้สามารถทำได้โดยการนำน้ำเสียมาเติมอากาศเพื่อไล่ซัลไฟด์เสียก่อนหรืออาจใช้กระบวนการลานกรองจุลินทรีย์ (tricking filter) แบบ high rate บำบัดน้ำเสียก่อนขั้นแรกเพื่อออกซิไดส์ซัลไฟด์ให้เป็นซัลเฟตก่อนเข้าระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง [9]

2.6.1.5 ค่าพีเอช

ค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสมควรมีค่าใกล้เคียง 7 คือ สภาพเป็นกลางมากที่สุด หากค่าพีเอชต่ำจะทำให้ ฟังไจ (fungi) ที่เป็นเส้นใยเจริญเติบโตและทำให้เกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัวได้ [14]

2.6.1.6 การเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์อย่างรวดเร็ว

การเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์อย่างรวดเร็ว (shock load) ทั้งปริมาณการไหลและความเข้มข้น ซึ่งหากไม่ได้รับการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียให้สามารถรับสถานะการณ์เช่นนี้แล้วมักจะเอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย สาเหตุอาจเนื่องจากจุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อคไม่สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้ หรือการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์อย่างรวดเร็วจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ และเป็นสาเหตุต่อเนื่องกันก็อาจเป็นได้ เช่น ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำลง มีค่าอาหารเสริมไม่เพียงพอ

เป็นต้น วิธีแก้ไขทำได้โดยการสร้างบ่อพักน้ำเสียเพื่อปรับสภาพให้มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แล้วจึงส่งไปเข้าถังเติมอากาศ

2.6.1.7 สารพิษ

การที่มีสารพิษ เช่น โลหะหนักปนเข้ามากับน้ำเสียเป็นปริมาณไม่มากนักจะทำให้จุลินทรีย์ที่ทนต่อสารพิษชนิดนั้นได้ไม่ตาย ส่วนจุลินทรีย์ที่เหลือก็จะเจริญเติบโตขึ้นมาเป็นอัตราส่วนที่เพิ่มมากขึ้น เช่น การมีสารประกอบโครเมี่ยมอยู่ในน้ำเสียจะทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยเจริญเติบโตได้ดีกว่าจุลินทรีย์ที่สร้างฟล้อค [15] แต่ถ้าใส่สารเคมีที่เป็นสารออกซิไดส์อย่างแรง เช่น คลอรีนหรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ลงไปในน้ำตะกอนกลับพบว่าจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยสามารถทนความเป็นพิษได้น้อยกว่าและตายก่อนจุลินทรีย์ที่สร้างฟล้อค จึงเป็นวิธีแก้ปัญหาตะกอนไม่จมตัวแบบเฉพาะหน้าวิธีหนึ่ง

2.6.2 ชนิดของสารอาหารในน้ำเสีย

ในระบบตะกอนเร่งที่ใช้กำจัดน้ำเสียที่มีส่วนประกอบซับซ้อน เช่น น้ำเสียจากที่อยู่อาศัย น้ำเสียจากโรงงานทำอาหารกระป๋อง ฯลฯ มักไม่เกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัวหรือถ้าเกิดก็มักไม่รุนแรงและเกิดขึ้นเป็นครั้งคราวซึ่งหายได้เอง ส่วนตะกอนเร่งที่เลี้ยงด้วยน้ำเสียที่เป็นแป้ง น้ำตาล หรือสารอาหารที่ย่อยได้ง่ายซึ่งไม่มีสารอาหารประเภทอื่นปะปนซับซ้อนมักจะเกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัวอย่างรุนแรงและถาวร ซึ่งการแก้ไขปัญหาแบบนี้กระทำได้โดยการออกแบบถังเติมอากาศเลี้ยงจุลินทรีย์แบบที่สร้างฟล้อคเท่านั้นและกีดกันมิให้แบคทีเรียที่เป็นเส้นใยมีโอกาสเติบโตขึ้นมาแข่งได้

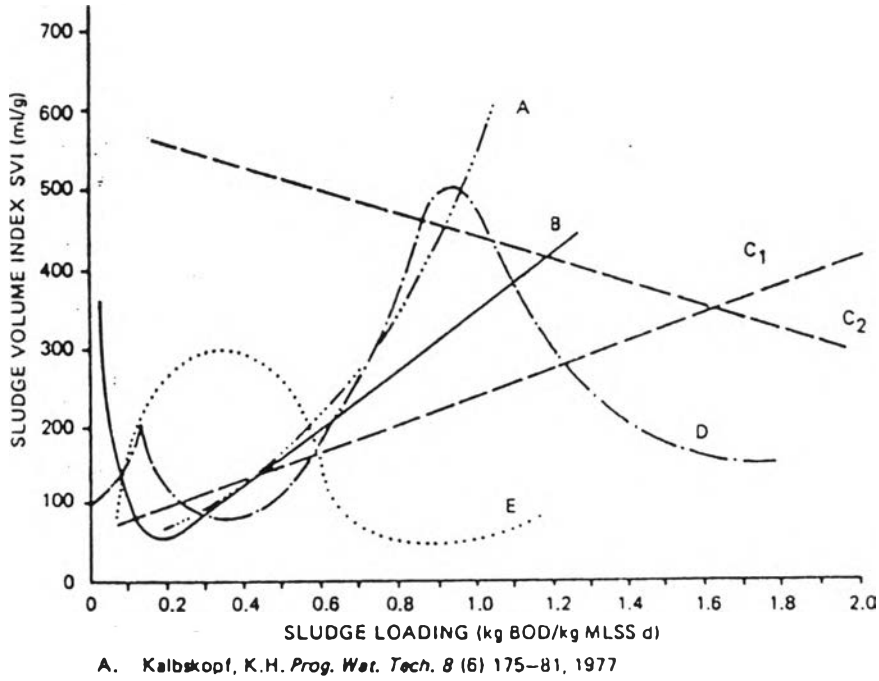
2.6.3 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์

ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (organic loading) คืออัตราส่วนปริมาณสารอาหารต่อมวลจุลินทรีย์ (Food to Microorganism ratio , F:M) ถ้าเอาค่าประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์คูณกับค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะได้เป็นค่าอัตราส่วนการใช้สารอาหารจำเพาะซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับตรงกับค่าอายุตะกอน (sludge age) ดังนั้นถ้าควบคุมค่าใดค่าหนึ่งแล้วอีกสองค่าที่เหลือจะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

การเปลี่ยนแปลงค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์หรือค่าอายุตะกอนจะทำให้อัตราส่วนของจำนวนจุลินทรีย์แต่ละชนิดที่มีอยู่ในตะกอนเร่งเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการดกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์

Chudoba [16] พบว่าค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีผลโดยตรงต่อค่าดัชนีปริมาตรตะกอนและค่าดัชนีปริมาตรตะกอนยังขึ้นอยู่กับรูปแบบการไหลของน้ำในถังเติมอากาศอีกด้วย โดยพบว่าถ้าลักษณะการไหลของน้ำในถังเติมอากาศเป็นแบบกวนสมบูรณ์ (completely mixed) ค่าดัชนีปริมาตรตะกอนลดลงเมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น (กราฟ C_2 ในรูปที่ 2.2) แต่ถ้าเป็นการไหลแบบตามแนวยาว (plug flow) กลับพบว่าค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเพิ่มขึ้นเมื่อค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น (กราฟ C_1 ในรูปที่ 2.2)

กระบวนการตะกอนเร่งที่ได้รับสารอาหารมากเกินกว่าที่แบคทีเรียแบบสร้างฟล้อคจะกินได้หมดจะมีสารอาหารเหลือสำหรับแบคทีเรียที่เป็นเส้นใย ดังนั้นระบบที่ได้รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์มากเกินไป หรือ F:M สูงเกินไปหรืออายุตะกอนต่ำเกินไปจึงอาจเกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัวได้ ดังนั้นจึงควรระวังในข้อนี้ [3]



A. Kalbskopf, K.H. *Prog. Wat. Tech. 8* (6) 175–81, 1977
B. Goodman, B.L. *Manual for Activated Sludge Sewage Treatment* Technomic Publishing Co., 1971, 197 pp.
C_1, C_2. Chudoba *et al*. *Water Res. 8*, 231–237, 1974
D. Rideau, J.P., Morlaux, J.N. *La Tech. de l'eau*, (339), (340), 19–35, 17–27, 1975.
E. W.P.R.L. *Water Pollution Res.*, London, HMSO, 1965, 214 pp.

รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์กับค่าดัชนีปริมาตรตะกอน [17]

2.6.4 ลักษณะการไหลทางชลศาสตร์ในถังปฏิกิริยา

น้ำเสียที่ไหลเข้าถังเติมอากาศของกระบวนการตะกอนเร่งมีอยู่ 2 ส่วน คือ น้ำเสียที่ต้องการบำบัดและตะกอนเร่งที่สูบกลับมาเข้าถังเติมอากาศ ซึ่งการผสมกันและลักษณะการไหลทางชลศาสตร์ภายในถังเติมอากาศนี้ ทำให้เกิดรูปแบบของกระบวนการตะกอนเร่งได้อีกหลายรูปแบบและมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพและการจมตัวของตะกอนเร่ง

ข้อมูลที่ได้รับจากการทดลองในห้องปฏิบัติการและจากโรงบำบัดน้ำเสียแสดงให้เห็นชัดเจนว่าการไหลแบบกวนสมบูรณ์ และ/หรือ การป้อนน้ำเสียเข้าถังเติมอากาศอย่างต่อเนื่องเป็นสภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย และเมื่อจุลินทรีย์ชนิดนี้มีมากขึ้นก็จะเกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัวในถังตกตะกอน ดังนั้นจึงได้มีผู้พยายามสร้างสมมุติฐานและหาคำอธิบายสนับสนุนอยู่หลายทฤษฎีซึ่งจะกล่าวถึงแนวความคิดของบางทฤษฎีที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

2.6.4.1 ทฤษฎีการลดค่าความเข้มข้นของสารอาหารตามลำดับ

ทฤษฎีการลดค่าความเข้มข้นของสารอาหารตามลำดับ (substrate gradient) ได้อาศัยข้อมูลจากการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ทั้งชนิดที่เป็นเส้นใยและที่สร้างฟล็อคซึ่งจากการใช้สมการของ Monod พบว่าเมื่อ

$$u = \frac{u_m \; S}{K_s + S} = r_m \; Y_{obs} \frac{S}{K_s + S}$$

u = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate)

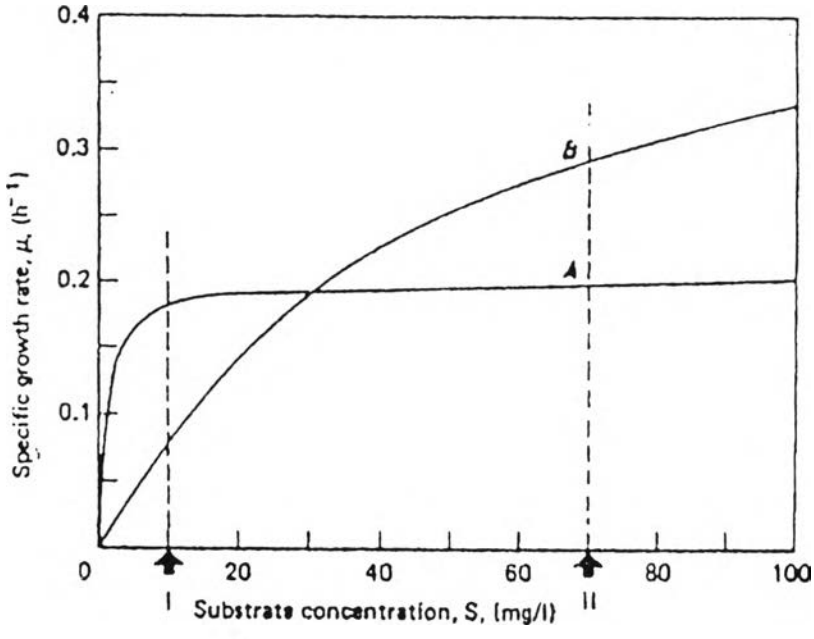
u_m = อัตราการเจริญเติบโตสูงสุด (maximum growth rate) , $hr.^{-1}$

r_m = อัตราการใช้สารอาหารสูงสุด (maximum substrate removal rate) , hr^{-1}

Y_{obs} = สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตที่สังเกตุเห็น (observed biomass yield)

K_s = ค่าคงที่ (half velocity constant) , mg/l

S = ค่าความเข้มข้นของสารอาหารที่เป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโต (concentration of the growth limiting substrate) , mg/l



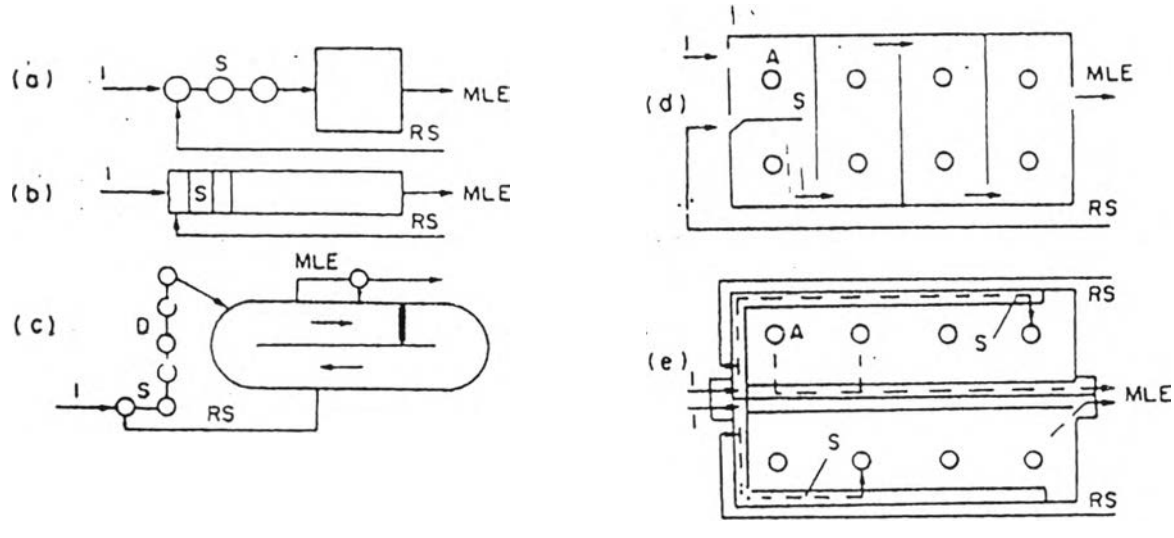
รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะกับค่าความเข้มข้นของสารอาหารของจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย (K_s = 1 mg/l , u_m = 0.2 hr^{-1}) และจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย (K_s = 50 mg/l , u_m = 0.5 hr^{-1}) (18)

ลักษณะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดจะเกิดขึ้นตามรูปที่ 2.3 โดยเส้น A เป็นจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยมีค่า K_s = 1 มก./ล. , u_m = 0.2 ชม$^{-1}$ และเส้น B เป็นจุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อคมีค่า K_s = 50 มก./ล. , u_m = 0.5 ชม$^{-1}$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด (maximum growth rate) ที่ต่ำกว่าจุลินทรีย์สร้างฟล็อค แต่ในสภาพที่มีค่าความเข้มข้นของสารอาหารต่ำ ๆ จะสามารถใช้กำจัดสารอินทรีย์รวมทั้งมีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่สูงกว่าในทำนองกลับกันที่สภาวะซึ่งมีค่าความเข้มข้นของสารอาหารสูงจุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อคจะสามารถกำจัดสารอาหารด้วยอัตราที่สูงกว่าจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่สูงกว่าเช่นกัน

จากเหตุผลดังกล่าวมานี้จึงทำให้สามารถอธิบายได้ว่าในกระบวนการตะกอนเร่งที่มีลักษณะการไหลทางชลศาสตร์ในถังเติมอากาศแบบกวนสมบูรณ์ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารสูงและมีค่าความเข้มข้นของสารอาหารต่ำตลอดทั้งถัง จึงเป็นระบบที่

เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย ส่วนการที่จะควบคุมระบบให้มีค่าสารอินทรีย์สูงทั้งถังเติมอากาศก็จะทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพไม่ดีและผิดวัตถุประสงค์ในการบำบัดน้ำเสีย

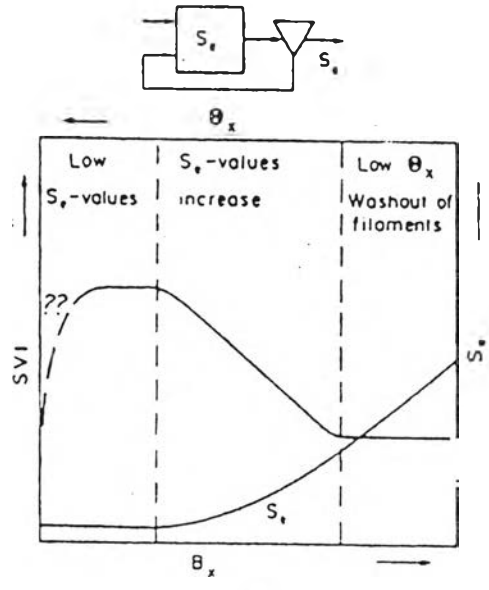
Chudoba และคณะ [18] ได้ทำการทดลองโดยใช้ถังคัดเลือกสายพันธุ์ (selector) โดยทำเป็นถังเติมอากาศย่อย ๆ หลายถัง เพื่อให้มีค่าความเข้มข้นสารอาหารในถังแรกมีค่าสูงและค่อย ๆ ลดลงตามลำดับ ซึ่งในลักษณะเช่นนี้จะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อคสามารถเจริญเติบโตแข่งกับจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยได้ถึงแม้จะใช้สารอาหารชนิดที่ทำให้เกิดจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย เช่น คาร์โบไฮเดรตก็ตาม วิธีการเช่นนี้ได้มีผู้นำมาใช้กับโรงบำบัดน้ำเสียจริงแล้ว ซึ่งแสดงรูปแบบของการไหลไว้ในรูปที่ 2.4



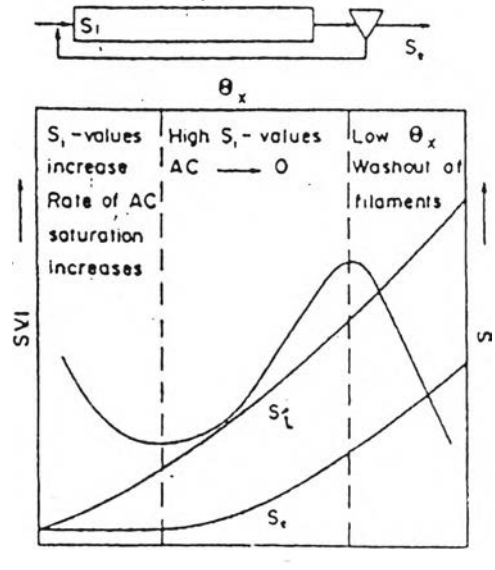
a, b—as suggested by Chudoba *et al.* (1973a); c—Zuildpolder, Holland, 3 $m^3 h^{-1}$ (Heide and Pasveer, 1974); d—Vienna, Austria, 21,600 $m^3 h^{-1}$ (Matsche, 1982); e—Hamilton, Ohio, U.S.A., 2880 $m^3 h^{-1}$ (Wheeler *et al.*, 1983). A—aerators, D—denitrificators, I—influent, MLE—mixed liquor effluent, S—selectors, RS—returned sludge.

รูปที่ 2.4 ถังคัดเลือกสายพันธุ์ (selector) ชนิดต่าง ๆ [18]

สำหรับลักษณะการไหลในถังเติมอากาศแบบไหลตามแนวยาว (plug flow) ซึ่งระบบทำงานอยู่ในช่วงอัตราการบำบัดต่ำ (low loading) จะพบว่าที่หัวถังเติมอากาศมีค่าความเข้มข้นของสารอาหารสูงและค่อย ๆ มีค่าลดลงไปตามความยาวของถังเติมอากาศ จึงถือว่ามีลักษณะการทำงานเป็นแบบถังคัดเลือกสายพันธุ์ (selector) และมีผลต่อค่าดัชนีปริมาตรตะกอน



รูปที่ 2.5 (ก) อิทธิพลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (B_x) และอายุตะกอน (Q_x) ที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำออก (S_e) และค่าดัชนีปริมาตรตะกอนในระบบที่มีลักษณะการไหลในถังเติมอากาศแบบกวนสมบูรณ์ (19)



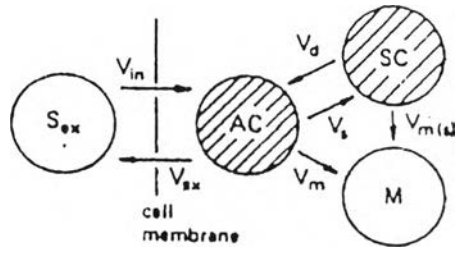
รูปที่ 2.5 (ข) อิทธิพลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (B_x) และอายุตะกอน (Q_x) ที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำออก (S_e) และค่าดัชนีปริมาตรตะกอนในระบบที่มีลักษณะการไหลในถังเติมอากาศแบบไหลตามแนวยาว (plug flow) (19)

014395

2.6.4.2 <u>ทฤษฎีการเก็บรวบรวม - การนำอาหารออกมาใช้ภายหลัง</u>

จากการที่พบว่าการลดค่าสารอาหารลงตามลำดับไม่สามารถแก้ปัญหาการเกิดจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยได้ที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง ๆ จึงแสดงว่ายังต้องมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทั้งสองชนิด

Grau และคณะ [20] ได้ทำการค้นคว้าเอกสารต่าง ๆ เพื่อสนับสนุนทฤษฎีการเก็บรวบรวม - การนำอาหารออกมาใช้ภายหลัง (accumulation - regeneration theory) โดยพบว่าก่อนที่แบคทีเรียจะแบ่งเซลล์นั้นแบคทีเรียจะเก็บรวบรวมสารอาหารภายนอกเซลล์ (accumulate the exogenouse substrate) จากนั้นเปลี่ยนเป็นสารประกอบเก็บรวบรวมภายใน (endogenous accumulation compounds) และสารประกอบเก็บสะสม (storage compounds) และส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ ในระหว่างช่วงเวลานี้มวลของเซลล์จะเพิ่มขึ้นโดยที่ยังไม่ได้เพิ่มจำนวนเซลล์แต่อย่างใด หลังจากช่วงเวลาเก็บรวบรวมจะมีการสร้าง DNA ของเซลล์เพิ่มขึ้น ในกระบวนการตะกอนเร่งที่มีน้ำตาลเป็นสารอาหารมวลของตะกอนจุลินทรีย์สามารถเพิ่มขึ้นได้ถึงร้อยละ 200 ถึง 270 ก่อนที่มีการแบ่งเซลล์ โดยทั่วไปแล้วการเก็บรวบรวมจะขึ้นอยู่กับอัตราภาระบรรทุก (loading rate) สำหรับกระบวนการที่มีค่าภาระบรรทุกต่ำ ๆ เช่นกระบวนการตะกอนเร่งนั้นการเก็บสะสมจะใช้เวลานาน (ประมาณ 5 ชั่วโมง) ก่อนจะมีการแบ่งเซลล์ แต่ในกระบวนการที่มีค่าภาระบรรทุกสูงจะใช้เวลาน้อยกว่านี้ ปรากฏการณ์เก็บรวบรวมและเก็บสะสมในกระบวนการตะกอนเร่งรวมทั้งการส่งถ่ายและการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.6 ปริมาณของสารอาหารที่เปลี่ยนไปเป็นสารอาหารเก็บสะสมต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของเซลล์ก่อนเกิดการแบ่งตัว



S_{ex} = extracellular substrate concentration
V_{in}, V_{ex} = rates of transport into and out of cell, respectively
V_d = rate of depolymerization of storage material
V_s = rate of substrate modification and storage
V_m = rate of substrate metabolism
$V_{m(s)}$ = rate of storage material metabolism
M = metabolic sequence.

รูปที่ 2.6 รูปจำลองแสดงการส่งถ่ายสารอาหารเข้าไปในเซลล์ การเก็บรวบรวม การเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบเก็บสะสมและเมตาโบลิสม [20]

เรียกว่าความสามารถในการเก็บสะสม (storage capacity , SC) ส่วนปริมาณของสารอาหารซึ่งสามารถเก็บรวบรวมต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของเซลล์เรียกว่า ความสามารถในการเก็บรวบรวม (accumulation capacity , AC : คำว่า accumulation หมายถึงความสามารถของจุลินทรีย์ที่สามารถดูดเอาสารอาหารเข้ามาไว้ภายในเซลล์ก่อนจะนำไปใช้ไม่ได้หมายถึงการเก็บสะสมเอาไว้ในรูปอาหารสำรอง) จากการทดลองพบว่าจุลินทรีย์ในกระบวนการตะกอนเร่งที่ใช้กลูโคสเป็นสารอาหารมีค่า SC ประมาณ 2 กรัม/กรัม และมีค่า AC ประมาณ 0.3 - 0.4 กรัม/กรัม หรือเพียงประมาณร้อยละ 20 ของค่า SC นอกจากนี้ยังพบว่าค่า AC ขึ้นอยู่กับค่าอายุตะกอน (sludge age) และอัตราส่วนกลูโคสในสารอาหาร จากการที่ระบบบำบัดน้ำเสียทำงานอยู่ในช่วงอัตราการบำบัดต่ำ (0.1 - 0.5 กรัม บีโอดี / กรัม MLSS) ดังนั้นค่า AC จึงน่าจะมีความสำคัญต่อการคัดเลือกสายพันธุ์ของจุลินทรีย์มากกว่าค่า SC

จากผลการทดลองของ Grau [20] ค่าดัชนีปริมาตรตะกอนมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของสารอาหารที่ถูกทำลาย (oxidized) ซึ่งตะกอนเร่งจะจมตัวได้ดีก็ต่อเมื่อสารอาหารที่ถูกกำจัด (substrate removal) มีค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ถูกทำลายไป (oxidized)

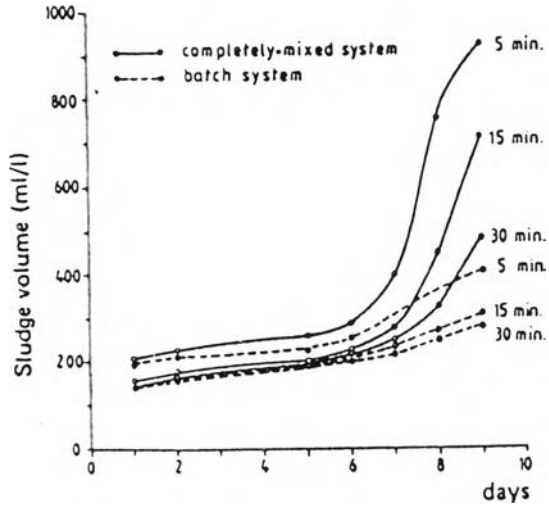
หากถือว่าความสามารถในการเก็บรวบรวมสูงสุด (maximum AC) และอัตราการเก็บรวบรวม (accumulation rate , AR) ของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ มีค่าไม่เท่ากันอีกทั้งความสามารถในการเก็บรวบรวมที่มีอยู่ขณะใด ๆ (available AC) เปลี่ยนแปลงตามเวลาในการนำอาหารออกมาใช้ภายหลัง (regeneration preriod) ดังนั้นถ้ามีระยะเวลาในการนำอาหารออกมาใช้ภายหลังที่นานเพียงพอจนทำให้จุลินทรีย์ทุกชนิดในระบบมีค่าความสามารถในการเก็บรวบรวม (AC) สูงที่สุดของมันแล้วจะเป็นผลให้จุลินทรีย์ชนิดที่มีค่า AC และ AR สูงที่สุดสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดและเป็นจุลินทรีย์ที่มีปริมาณมากที่สุดในระบบ

Chodoba [19] ได้สรุปว่าจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยมีค่า AC ต่ำ ส่วนจุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อคมีค่า AC สูงจึงพบว่ากระบวนการที่นำตะกอนเร่งมาเติมอากาศก่อนที่จะส่งไปเข้าถังเติมอากาศ (sludge regeneration) สามารถแก้ปัญหาจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยได้

2.7 อิทธิพลของรูปแบบการป้อนน้ำเสียที่มีต่อการจมตัวของตะกอนเร่ง

Rensink [21] พบว่าตะกอนไม่จมตัวที่เกิดขึ้นในระบบคลองวนเวียน (oxidation ditches) นั้นสามารถแก้ไขให้ตกตะกอนดีขึ้นได้โดยการป้อนน้ำเสียแบบเป็นครั้ง (batch system) ในห้องปฏิบัติการ จากผลการทดลองครั้งนี้เขาจึงให้คำแนะนำว่ารูปแบบการป้อนน้ำเสียน่าจะมีความสำคัญมากกว่าภาระบรรทุกตะกอน (sludge loading) ในการควบคุมปัญหาตะกอนไม่จมตัว

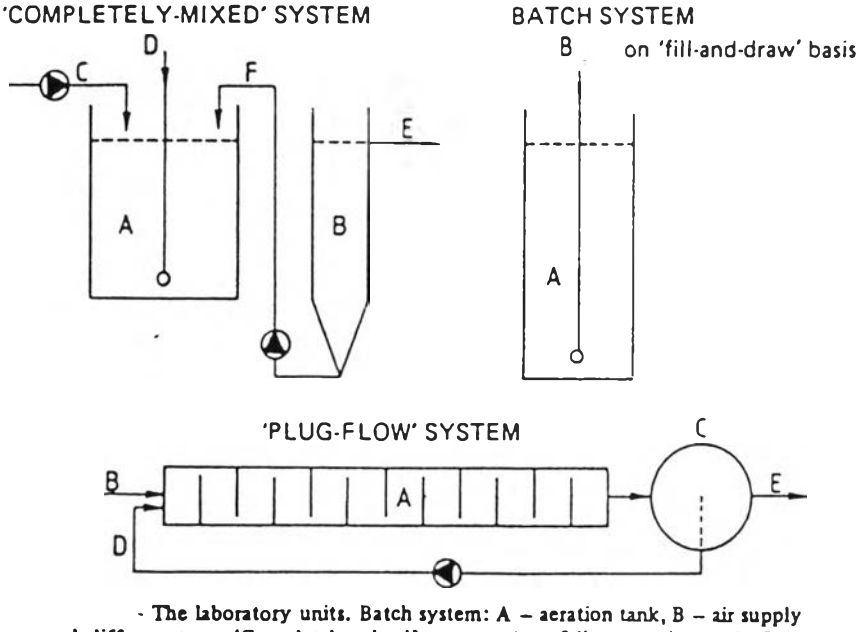
ในการทดลองเปรียบเทียบระหว่างระบบแบบป้อนเป็นครั้ง (batch system) กับระบบแบบผสมกันทั่วถึง (completely mixed system) โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ และควบคุมภาระบรรทุกตะกอนให้เท่ากับ 300 g BOD_5 / Kg MLSS-day ซึ่งมีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS) อยู่ในช่วง 2 - 2.5 มก./ล.และทำการวัดความสามารถในการตกตะกอนของจุลินทรีย์ในระบบโดยวัดค่าเมื่อตกตะกอนผ่านไปเป็นเวลา 5 , 15 และ 30 นาที ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 2.7 เมื่อทดลองผ่านไป 1 สัปดาห์ก็พบแบคทีเรียที่



รูปที่ 2.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีปริมาตรตะกอนที่ทำการวัดหลังจากตกตะกอนผ่านไป 5 , 15 และ 30 นาที ตามลำดับ ในระบบแบบป้อนเป็นครั้งและระบบแบบผสมกันทั่วถึง

เป็นเส้นใยชนิด Sphaerotilus natans มีอยู่ทั่วไปในตะกอนเร่งของระบบแบบผสมกันทั่วถึง ส่วนตะกอนในระบบแบบป้อนเป็นครั้งนั้นมีการอัดตัวได้ดีและมีเสถียรภาพแล้วยังแทบไม่พบแบคทีเรียที่เป็นเส้นใยเลย ซึ่งผลการทดลองอันนี้ทำให้มีการทดลองหาความสัมพันธ์ของรูปแบบการป้อนน้ำเสียกับการจมตัวของตะกอนเร่งกันอย่างกว้างขวางในเวลาต่อมา

จากการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้ระบบแบบป้อนน้ำเสียเป็นครั้ง (batch system) ระบบแบบผสมกันทั่วถึง (completely mixed system) และระบบแบบไหลตามแนวยาว (plug flow system) ซึ่งทุกระบบป้อนด้วยน้ำเสียสังเคราะห์และใช้ภาระบรรทุก (loading) ในช่วง 25 - 2000 g BOD_5 / Kg MLSS-day ลักษณะของเครื่องมือที่ทำการทดลองแสดงในรูปที่ 2.8



- The laboratory units. Batch system: A – aeration tank, B – air supply and diffuser stone. 'Completely-mixed' system: A – 3-litre aeration tank, B – 2-litre sedimentation tank, C – feed line, D – air supply and diffuser stone, E – effluent, F – return sludge. 'Plug-flow' system: A – 6-litre aeration tank, B – feed line, C – 2-litre sedimentation tank, D – return sludge, E – effluent.

รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการ

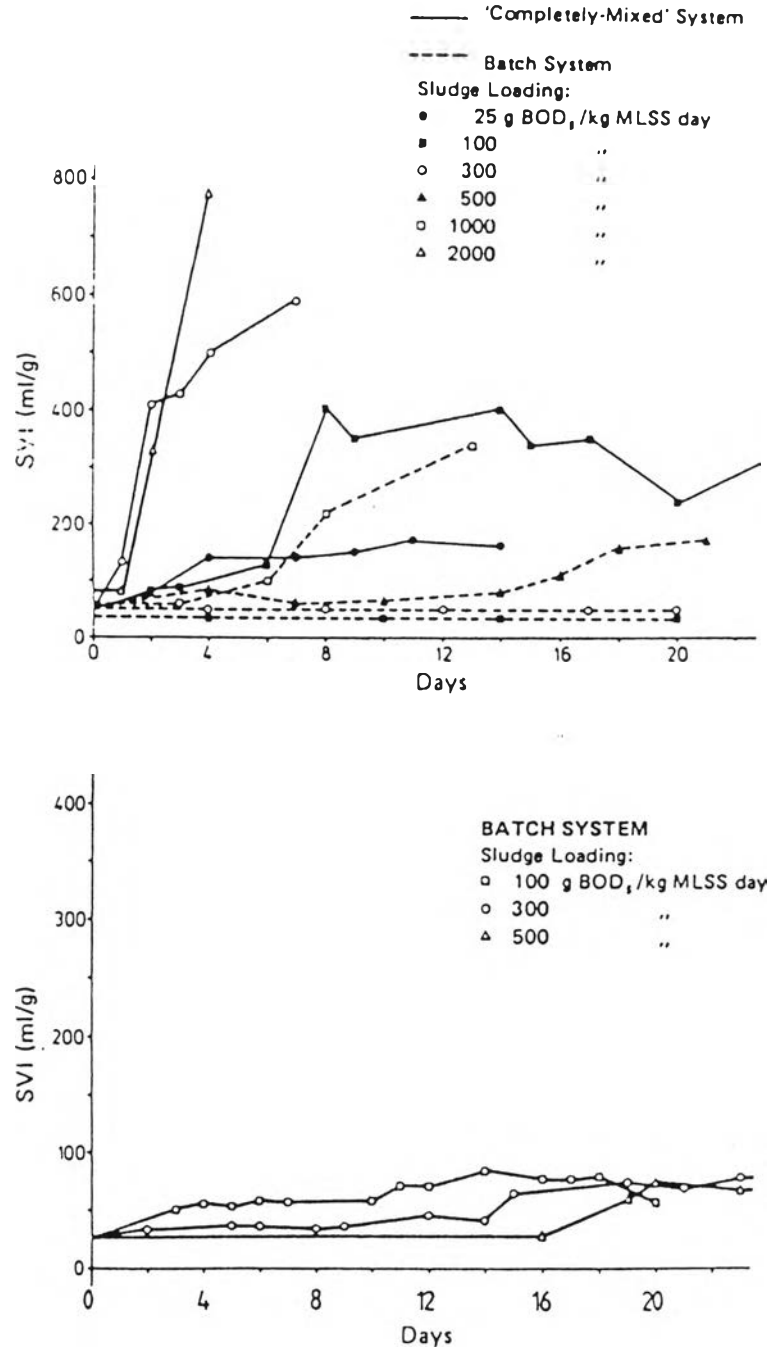
ผลการทดลองได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 ซึ่งสรุปได้ดังนี้

- ค่าดัชนีปริมาตรตะกอนในระบบแบบป้อนเป็นครั้งมีค่าต่ำ (100 มล./ก.) และมีเสถียรภาพที่ภาระบรรทุกต่ำกว่า 300 g BOD_5 / Kg MLSS-day แต่ค่าดัชนีปริมาตรตะกอนในระบบแบบผสมกันทั่วถึงนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มภาระบรรทุก นอกจากนั้นค่าดัชนีปริมาตรตะกอนยังมีค่าขึ้น ๆ ลง ๆ ในระหว่างการทดลองระบบแบบผสมกันทั่วถึง

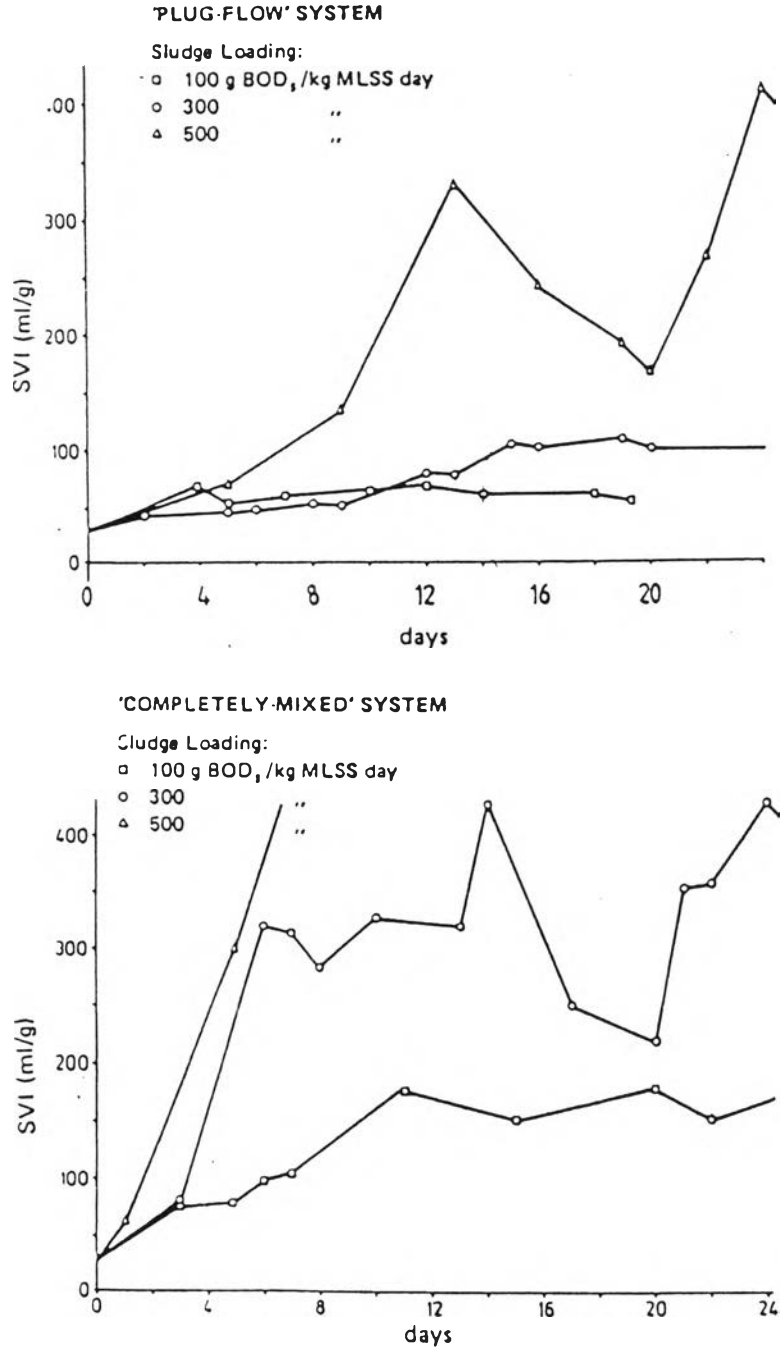
- หลังจากปฏิบัติการได้หลายวันพบว่าในระบบแบบป้อนเป็นครั้งเริ่มมีแนวโน้มเกิดอาการไม่จมตัวของตะกอนเมื่อภาระบรรทุกมากกว่า 300 g BOD_5 / Kg MLSS-day ส่วนในระบบแบบผสมกันทั่วถึงนั้นถ้าภาระบรรทุกมากกว่า 300 g BOD_5/ Kg MLSS-day แล้วค่าดัชนีปริมาตรตะกอนจะเพิ่มขึ้นในระดับที่สูงมากภายในระยะเวลาเพียง 1 หรือ 2 วันเท่านั้น

- ค่าดัชนีปริมาตรตะกอนในระบบแบบไหลตามแนวยาว ที่ภาระบรรทุกในช่วง 100 - 30 g BOD_5 / Kg MLSS-day จะมีค่าต่ำและมีเสถียรภาพซึ่งเป็นช่วงเดียวกันกับในระบบแบบป้อนเป็นครั้ง

- จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยในตะกอนเร่งที่ทำให้เกิดการไม่จมตัวของตะกอนที่พบคือ Sphaerotilus natans และ Flexibacter or Haliscomenobacter ตามปกติจะมีตัวใดตัวหนึ่งเด่นขึ้นมาในระบบ



รูปที่ 2.9 (ก) แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีปริมาตรตะกอนที่ภาระบรรทุกต่าง ๆ ในระบบแบบป้อนเป็นครั้งและแบบผสมกันทั่วถึง



รูปที่ 2.9 (ข) แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีปริมาตรตะกอนที่ภาระบรรทุกต่าง ๆ ในระบบแบบไหลตามแนวยาวและระบบแบบผสมกันทั่วถึง

นอกจากนี้ Rensink [21] ยังได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาอิทธิพลของการดัดแปลงระบบตะกอนเร่งแบบ conventional ที่มีผลต่อการจมตัวของตะกอนซึ่งมีระบบต่าง ๆ ดังนี้

1. ระบบป้อนน้ำเสียแบบต่อเนื่องแบบผสมกันทั่วถึง (continuous completely mixed system)
2. ระบบป้อนน้ำเสียแบบต่อเนื่องแบบไหลตามแนวยาว (continuous plug flow system)
3. ระบบป้อนน้ำเสียชนิดป้อนเป็นครั้งแบบไหลตามแนวยาว (batch system : plug flow)
4. ระบบป้อนน้ำเสียแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous) แบบป้อนน้ำเสียเป็นลำดับขั้น (step loading)
5. ระบบป้อนน้ำเสียแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous) แบบป้อนตะกอนเป็นลำดับขั้น (step sludge)

ระบบป้อนน้ำเสียแบบที่ 3 , 4 และ 5 เป็นวิธีการที่ดัดแปลงมาจากระบบ conventional ซึ่งมีการดัดแปลงดังนี้

ระบบป้อนน้ำเสียชนิดป้อนเป็นครั้งแบบไหลตามแนวยาวนั้นได้นำเอาหลักการแบบเติมเข้า - ถ่ายออก (fill - draw system) มาใช้ในระบบ

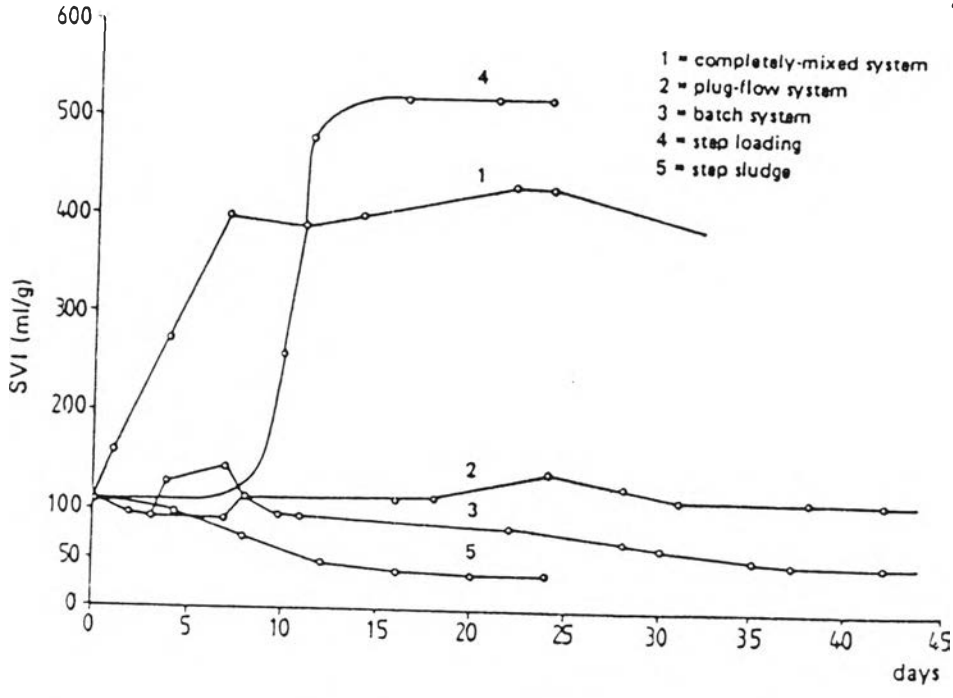
การป้อนน้ำเสียเป็นลำดับขั้นเป็นการดัดแปลงของระบบ conventional ซึ่งในระบบ conventional น้ำเสียจะถูกป้อนเข้าถังเติมอากาศทางตอนต้นของถังพร้อม ๆ กันกับตะกอนจุลินทรีย์ที่เวียนกลับ ส่วนในระบบป้อนน้ำเสียเป็นลำดับขั้นนั้นน้ำเสียจะถูกป้อนเข้าตามจุดต่าง ๆ ตามแนวยาวของถังเติมอากาศ ดังนั้นความเข้มข้นของตะกอนจะลดลงเรื่อย ๆ จากทางเข้าไปยังทางออกของถังเติมอากาศตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศจะได้รับน้ำเสียเพิ่มขึ้นตามแนวยาวของถัง ถัดจากถังเติมอากาศก็จะเป็นถังตกตะกอนซึ่งมีหน้าที่แยกมวลจุลินทรีย์ออกจากน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว ระบบเช่นนี้สามารถนำมาดัดแปลงได้ดังนี้

หลักการป้อนน้ำเสียเหมือนกับระบบป้อนน้ำเสียเป็นลำดับขั้น แต่มีช่วงเวลาหยุดเติมอากาศและหยุดเติมน้ำเสียเพิ่มเข้าไป ซึ่งช่วงเวลานี้จะแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว เรียกระบบแบบนี้ว่า ระบบกึ่งต่อเนื่อง เพราะว่าการป้อนน้ำเสียเป็นแบบกึ่งต่อเนื่องและน้ำทิ้งที่ออกจากระบบเป็นแบบป้อนเป็นครั้ง (batch process)

การป้อนตะกอนเป็นลำดับขั้น กระบวนการเช่นนี้ คือ การนำเอาตะกอนจุลินทรีย์ที่เวียนกลับมาเติมเข้าถังเติมอากาศตามจุดต่าง ๆ ตามแนวยาวของถัง การดัดแปลงระบบนี้มาเป็นแบบกึ่งต่อเนื่องนั้นคือการเปลี่ยนวิธีการป้อนน้ำเสียมาเป็นแบบป้อนเป็นครั้ง (batch process) และตะกอนจุลินทรีย์จะป้อนเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง ในระบบกึ่งต่อเนื่องนี้ตะกอนจะถูกเก็บไว้ในถังเติมอากาศอีกถังหนึ่ง จะเหลือตะกอนเร่งเพียงเล็กน้อยในถังเติมอากาศถังแรก น้ำเสียทั้งหมดจะเติมให้กับตะกอนจุลินทรีย์ในถังนี้ หลังจาก 2 ชั่วโมงผ่านไปตะกอนที่เก็บไว้จะถูกสูบเข้าถังเติมอากาศ

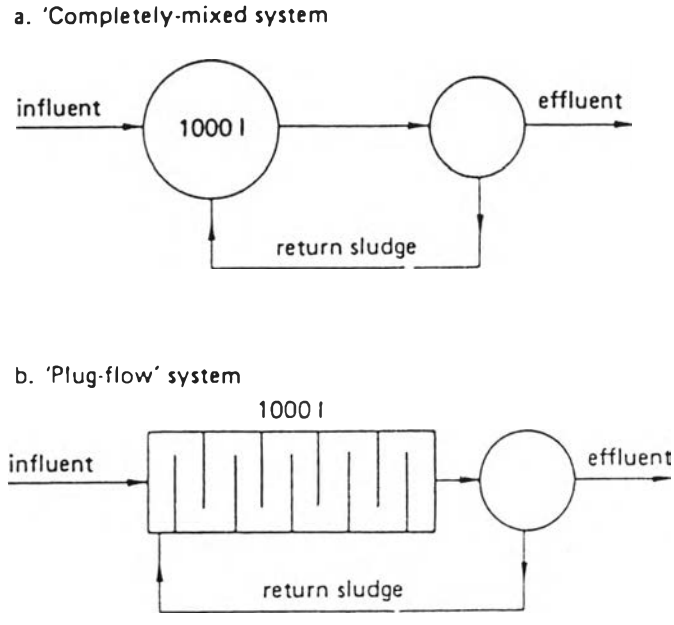
ในการทดลองครั้งนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งมีกลูโคสเป็นส่วนประกอบสำคัญและควบคุมภาระบรรทุกเท่ากับ 300 g BOD_5 / Kg MLSS-day ซึ่งมีความเข้มข้นของตะกอนประมาณ 2 ก./ล. ซึ่งผลการทดลองแสดงไว้ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

- ระบบแบบป้อนเป็นครั้ง ค่าดัชนีปริมาตรตะกอนลดลงเหลือ 50 มล./ก. ในระหว่างการทดลองและลักษณะตะกอนอัดตัวได้ดีและมีเสถียรภาพ
- ในระบบชนิดกึ่งต่อเนื่องแบบป้อนน้ำเสียเป็นลำดับขั้นเอื้ออำนวยให้เกิดตะกอนไม่จมตัวหลังจากทดลองได้ 8 วัน พบแบคทีเรียที่เป็นเส้นใยชนิด Sphaerotilus natans มีอยู่ทั่วไปในระบบ
- ในระบบชนิดกึ่งต่อเนื่องแบบป้อนตะกอนเป็นลำดับขั้น ระบบมีเสถียรภาพและมีค่าดัชนีปริมาตรตะกอนต่ำไม่มีจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยเกิดขึ้นเลย
- ระบบชนิดต่อเนื่องแบบผสมกันทั่วถึง ทำให้เกิดตะกอนไม่จมตัวจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยชนิด Sphaerotilus natans เป็นจุลินทรีย์ที่เด่นในระบบ
- ในระบบชนิดต่อเนื่องแบบไหลตามแนวยาว ระบบมีเสถียรภาพและลักษณะตะกอนอัดตัวได้ดี

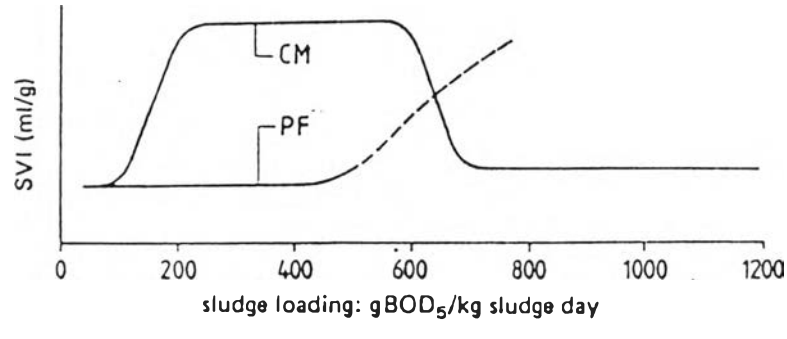


รูปที่ 2.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีปริมาตรตะกอนที่ภาระบรรทุก 300 BOD_5/KgMLSS-day ในกระบวนการตะกอนเร่งแบบต่าง ๆ

Rensink [22] ได้ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีปริมาตรตะกอนกับค่าภาระบรรทุกตะกอน (sludge loading) ในระบบแบบผสมกันทั่วถึง (completely mixed system) และในระบบแบบไหลตามแนวยาว (plug flow system) ซึ่งทำการทดลองในขนาดแบบจำลองต้นแบบ (pilot scale) ลักษณะเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งระบบทั้งสองป้อนด้วยน้ำเสียจากแหล่งที่อยู่อาศัย (settled domestic sewage) มีค่า BOD_5 = 300 มก./ล. และ COD = 500 มก./ล. มีค่า BOD_5:N:P = 100:23:6 ในระหว่างการทดลองควบคุมความเข้มข้นของตะกอนให้มีค่า 2 ก./ล. ตะกอนส่วนเกินถูกนำออกจากระบบอย่างต่อเนื่องและออกซิเจนละลายน้ำมีค่ามากเกินพอ ผลการทดลองแสดงไว้ดังรูปที่ 2.12



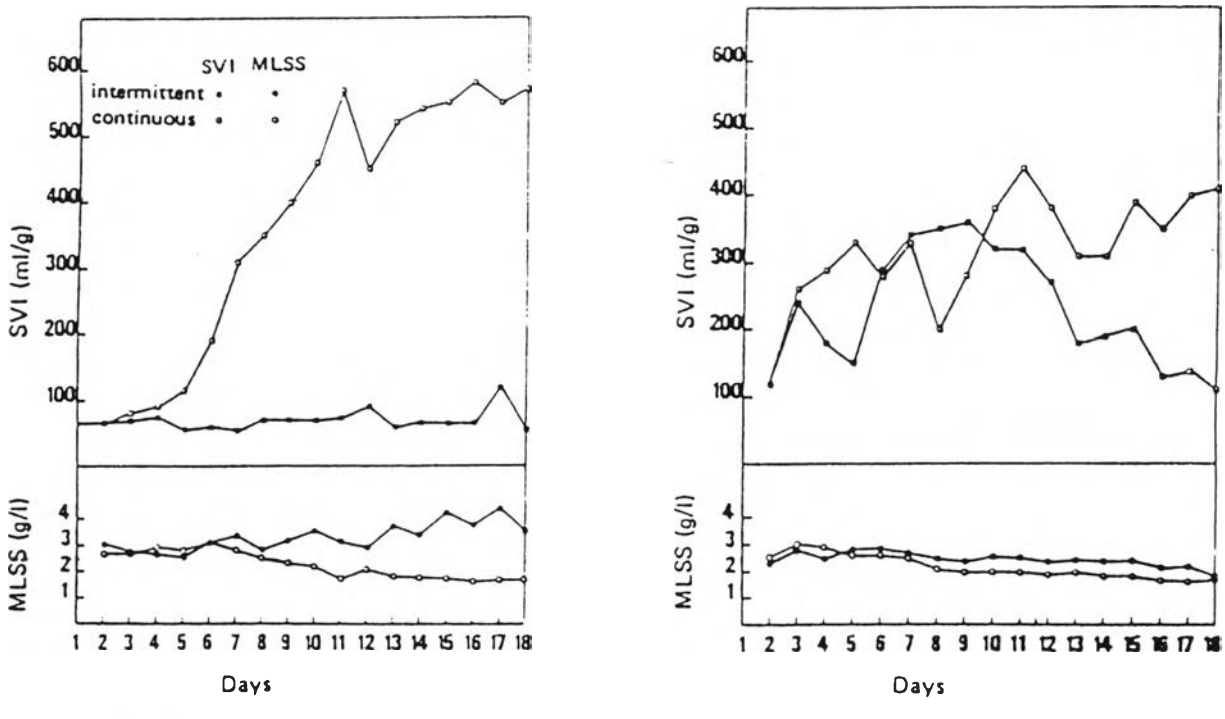
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของเครื่องมือขนาดจำลองที่ใช้ในการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีปริมาตรตะกอนกับภาระบรรทุกตะกอน ในระบบแบบผสมกันทั่วถึงและระบบแบบไหลตามแนวยาว



รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีปริมาตรตะกอนกับภาระบรรทุกตะกอนในระบบแบบผสมกันทั่วถึง (CM) และระบบแบบไหลตามแนวยาว (PF)

Houtmeyer [23] ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบระบบป้อนน้ำเสียอย่างต่อเนื่องกับระบบป้อนน้ำเสียแบบเป็นช่วง ๆ (intermittently fed system) โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยกลูโคส (glucose) + nutrient broth solids และแร่ธาตุที่จำเป็น โดยควบคุมอายุตะกอน (sludge age) ประมาณ 7 วัน ซึ่งมีความเข้มข้นของตะกอนประมาณ 3 กรัม/ลิตร การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS) และค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ในระหว่างการทดลองทั้งสองระบบแสดงไว้ในรูปที่ 2.13

จากการทดลองพบว่าดัชนีปริมาตรตะกอนในระบบป้อนน้ำเสียอย่างต่อเนื่องมีค่าสูงกว่าระบบป้อนน้ำเสียแบบเป็นช่วง ๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการป้อนสารอาหารเข้าถังเติมอากาศมีผลต่อชนิดของจุลินทรีย์ในตะกอนเร่ง

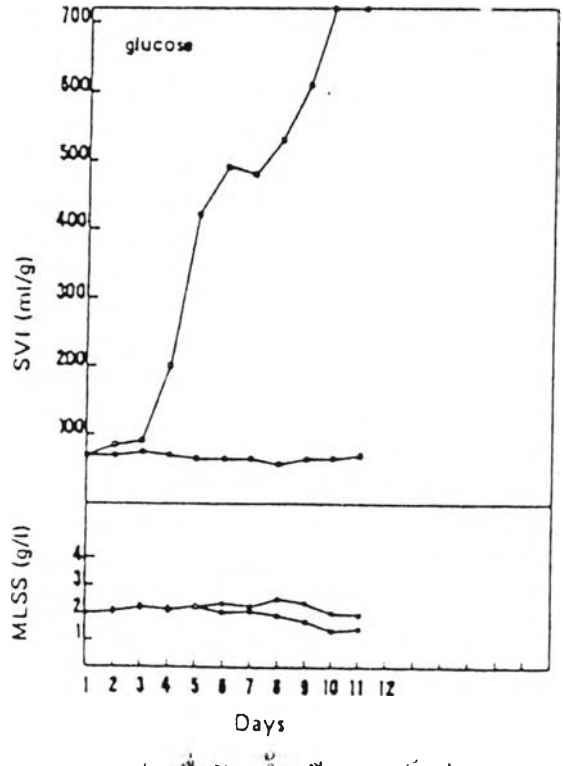


รูปที่ 2.13 แสดงคุณสมบัติของตะกอนเร่งเมื่อป้อนน้ำเสียแบบเป็นช่วง ๆ และแบบต่อเนื่องด้วยอาหารที่เป็นกลูโคสอย่างเดียว กับ กลูโคส + nutrient broth [23]

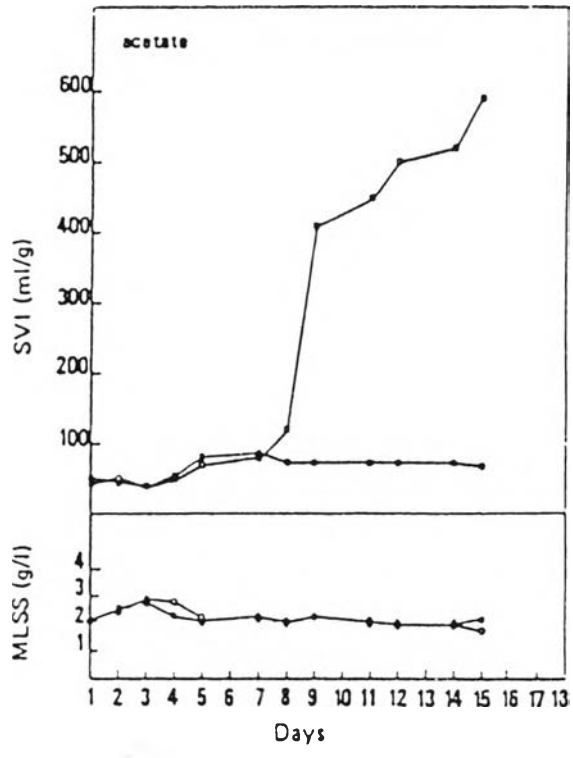
Houtmeyers [23] ให้ความเห็นในการทดลองครั้งนี้ว่าในระบบบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่องนั้นทำให้ความเข้มข้นของสารอาหารต่ำ ซึ่งสภาวะเช่นนี้เอื้ออำนวยแก่แบคทีเรียที่เป็น

เส้นใยมากกว่าแบคทีเรียที่สร้างฟล็อค สำหรับระบบป้อนน้ำเสียแบบเป็นช่วง ๆ ทำให้ความเข้มข้นของสารอาหารสูงอยู่ในช่วงที่ป้อนน้ำเสียและมีการลดความเข้มข้นของสารอาหารตามลำดับในถังเติมอากาศตลอดจนมีการใช้สารอาหารให้หมดไปอย่างรวดเร็วซึ่งสารอาหารถูกใช้หมดไปในเวลาไม่เกิน 5 นาที การทดลองครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการแยกช่วงการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบออกเป็นสองช่วง คือ ช่วง exogenous phase (ช่วงที่มีสารอาหารอยู่ในถังปฏิกิริยา) และช่วง endogenous phase (ช่วงที่สารอาหารขาดแคลนในถังปฏิกิริยา) จะเห็นได้ว่าระบบเช่นนี้อัตราการกำจัดสารอาหารมีความสำคัญมากในการคัดเลือกสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ในระบบ เป็นไปได้ว่าจุลินทรีย์ที่มีอัตราการกำจัดสารอาหารสูงสุดสามารถเก็บสะสมอาหารได้ในปริมาณที่มากกว่าในช่วง exogenous phase สั้น ๆ และนำออกมาใช้ในช่วงที่สอง คือ ช่วงที่อาหารภายนอกขาดแคลน แต่ในทางกลับกันจุลินทรีย์ที่มีอัตราการกำจัดสารอาหารต่ำอาจสะสมสารอาหารได้ในปริมาณที่น้อยกว่าและในช่วงที่หยุดป้อนน้ำเสียสภาวะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เหล่านี้ไม่เต็มที่ ถ้าอัตราการกำจัดสารอาหารของแบคทีเรียที่เป็นเส้นใยมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับแบคทีเรียที่สร้างฟล็อค คำอธิบายเหล่านี้ก็เป็นเหตุผลที่ว่าทำไมแบคทีเรียที่เป็นเส้นใยไม่สามารถเจริญเติบโตในระบบตะกอนเร่งที่มีการป้อนน้ำเสียแบบเป็นช่วง ๆ

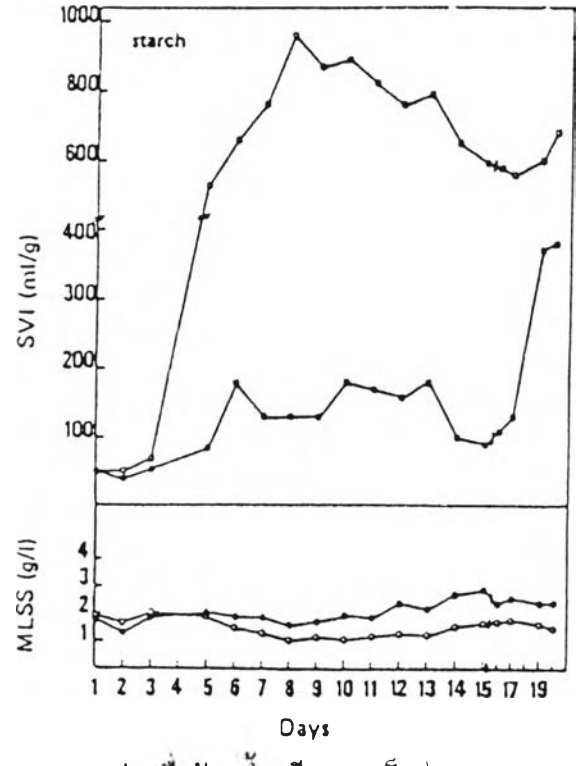
นอกจากนี้ยังมีการทดลองในการเปรียบเทียบการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ในภาวะป้อนสารอาหารเข้าถังเติมอากาศที่มีส่วนประกอบต่าง ๆ กันดังแสดงในรูปที่ 2.14 - 2.17



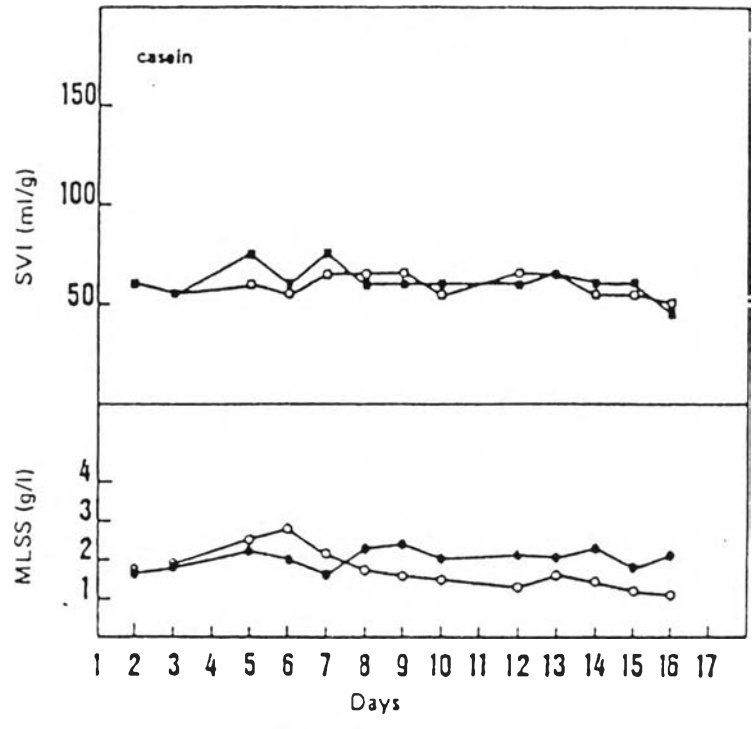
รูปที่ 2.14 คุณสมบัติของตะกอนเร่งเมื่อป้อนน้ำเสียแบบเป็นช่วง ๆ และแบบต่อเนื่องโดยใช้กลูโคสเป็นสารอาหารอินทรีย์ (organic substrate) (23)



รูปที่ 2.15 คุณสมบัติของตะกอนเร่งเมื่อป้อนน้ำเสียแบบเป็นช่วง ๆ และแบบต่อเนื่องโดยใช้ sodium acetate เป็นสารอาหารอินทรีย์ (organic substrate) [23]



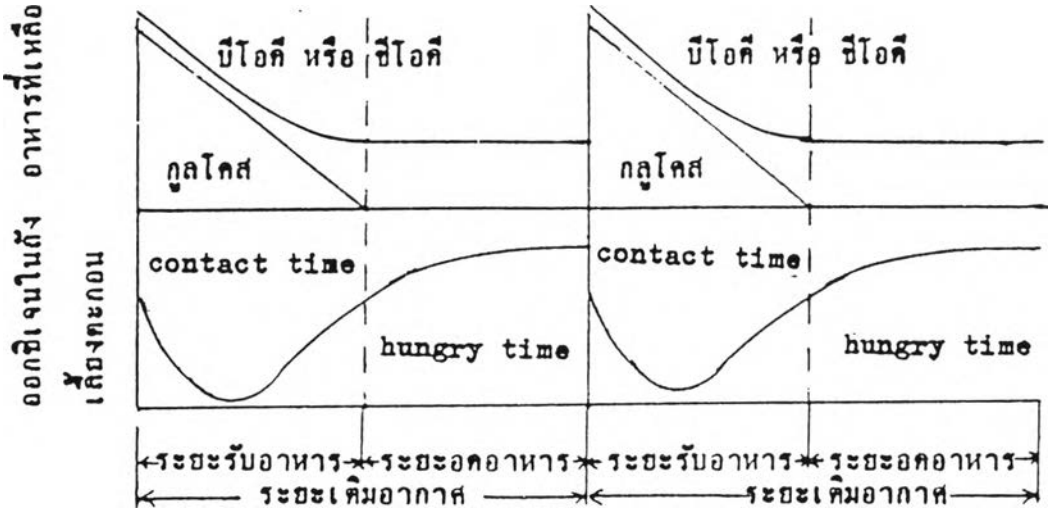
รูปที่ 2.16 คุณสมบัติของตะกอนเร่งเมื่อป้อนน้ำเสียแบบเป็นช่วง ๆ และแบบต่อเนื่องโดยใช้แป้งเป็นสารอาหารอินทรีย์ (organic substrate) [23]



รูปที่ 2.17 คุณสมบัติของตะกอนเร่งเมื่อป้อนน้ำเสียแบบเป็นช่วง ๆ และแบบต่อเนื่อง โดยใช้ casein เป็นสารอาหารอินทรีย์ (organic substrate)[23]

จากสมมุติฐานที่ว่าการไม่จมตัวของตะกอนเร่งมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับอัตราส่วนของระยะเวลาอดอาหาร (hungry time ratio) มีรายงาน[24] ว่าการเติมอากาศให้กับตะกอนที่เวียนกลับสามารถป้องกันการไม่จมตัวของตะกอนเร่งได้ ซึ่งในรายงานได้อธิบายว่าสัดส่วนของระยะเวลาอดอาหารกับระยะเวลารับอาหารที่สูงกว่า 6 สามารถควบคุมการขยายพันธุ์ของแบคทีเรียที่เป็นเส้นใยชนิด Sphaerotilus natans ได้

ตามรูปที่ 2.18 ช่วงเวลารับอาหาร (contact time) เป็นระยะเวลาในการเจริญพันธุ์ของ Sphaerotilus natans ส่วนระยะเวลาอดอาหาร (hungry time) เป็นระยะเวลาที่มันย่อยสลายตัวเอง ในรายงานได้อธิบายไว้ว่า Sphaerotilus natans ไม่สามารถขยายพันธุ์ได้เมื่ออัตราส่วนของระยะเวลาอดอาหารกับระยะเวลารับอาหารมีค่ามากกว่า 6 เพราะอัตราการสลายตัวเองของมันจะเร็วกว่าอัตราการเจริญพันธุ์ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์เป็นสารอาหาร



รูปที่ 2.18 แสดงหลักการของระยะเวลาอดอาหาร [24]

K. TERAMACHI [25] ใช้น้ำเสียจากท่อเทศบาลมาทดลองพบว่า อัตราส่วนระยะเวลาอดอาหารมีค่า 3.5 ก็เพียงพอในการควบคุมการไม่จมตัวของตะกอน และได้ให้ความเห็นว่าอัตราส่วนระยะเวลาอดอาหารไม่จำเป็นต้องมีค่าเท่ากับ 6 เสมอไปแต่จะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสียมากกว่า

2.8 ความเป็นมาในการแก้ปัญหาตะกอนจมไม่ลง

นับตั้งแต่ได้มีการค้นพบกระบวนการตะกอนเร่งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2457 [26] เป็นต้นมา ได้มีการพัฒนากลไกในการทำงานของกระบวนการหลายรูปแบบ ในระยะเริ่มแรกได้ใช้รูปแบบที่เรียกว่า แบบเติมเข้า - ถ่ายออก (fill and draw) โดยเติมน้ำเสียเข้าถังเติมอากาศในช่วงระยะเวลาประมาณหนึ่งชั่วโมง จากนั้นจึงเป่าอากาศให้ออกซิเจนอีกสามชั่วโมงเพื่อให้จุลินทรีย์ทำการบำบัดน้ำเสีย ขั้นต่อไปจะหยุดเติมอากาศทิ้งให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอนลงที่ก้นถังเป็นเวลาสองชั่วโมง แล้วจึงถ่ายน้ำใสส่วนหนึ่งออกทิ้งเป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว จากนั้นจึงเริ่มต้นใส่น้ำเสียใหม่หมุนเวียนอยู่เช่นนี้ การทำงานของกระบวนการแบบนี้ไม่มีรายงานว่าเกิดปัญหาตะกอนเรื่องไม่จมตัว

ในระยะต่อมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2464 ได้มีการพัฒนาระบบให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยเพิ่มถังตกตะกอนขึ้นอีกหนึ่งถัง น้ำเสียจะถูกส่งเข้ามาบำบัดในถังเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง จากนั้นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วและตะกอนจุลินทรีย์จะถูกส่งไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกน้ำใสส่วนบนออกจากระบบ ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่ตกตะกอนอยู่ก้นถังส่วนใหญ่จะถูกสูบกลับไปยังถังเติมอากาศ ลักษณะการไหลของน้ำในถังเติมอากาศในช่วงระยะนี้จะเป็นแบบไหลตามแนวยาว (plug flow) แต่เนื่องจากกลัวมีปัญหาเรื่องการไหลลัดวงจรประกอบกับการเติมอากาศเป็นระบบเป่าอากาศที่ไม่เหมาะสมสำหรับการไหลแบบนี้ จึงได้มีการคิดค้นรูปแบบใหม่ ๆ ขึ้นอีกหลายรูปแบบ เช่น แบบกวนสมบูรณ์ (completely mixed) แบบคอนแทคเตบิไลเซชัน (contact stabilization) แบบคลองวนเวียน (oxidation ditches) เป็นต้น

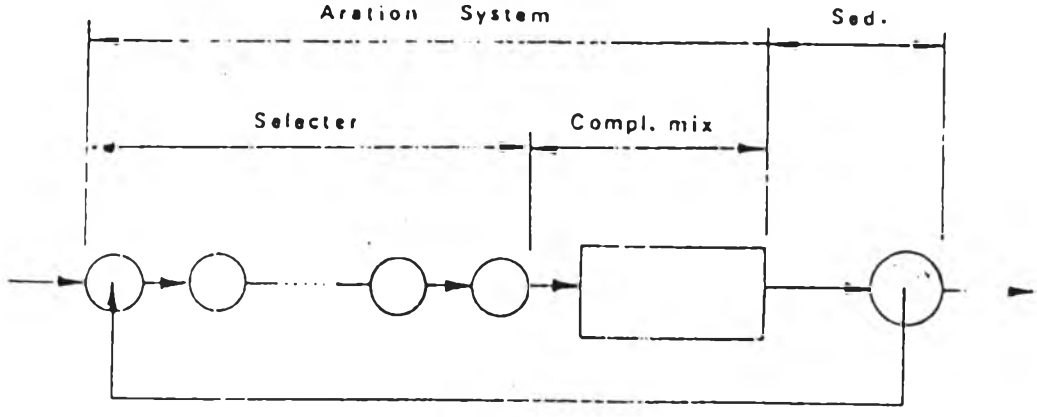
ปัญหาตะกอนจมไม่ลงเริ่มเป็นที่รู้จักกันดีและพบมากขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนมาใช้การทำงานแบบต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในถังเติมอากาศที่มีการไหลแบบกวนสมบูรณ์ (completely mixed)

ULLRICH และ SMITH ปี พ.ศ. 2494 และ พ.ศ. 2500 [27] ได้พยายามแก้ปัญหาตะกอนไม่จมตัวในระบบกำจัดน้ำเสียที่เมือง Austin Texas โดยการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงรูปแบบระบบตะกอนเร่งแบบ conventional ให้เป็นแบบที่เรียกกันว่า biosorption หรือ contact stabilization จากการทดลองพบว่าระบบนี้สามารถแก้ปัญหาตะกอนไม่จมตัวได้

Rensink ปี พ.ศ. 2509 [21] ได้ค้นพบว่าตะกอนไม่จมตัวในระบบคลองวนเวียน (oxidation ditches) นั้น สามารถแก้ไขได้ในห้องปฏิบัติการโดยการป้อนน้ำเสียแบบป้อนเป็นครั้ง (batch system)

Pasveer ปี พ.ศ. 2512 [28] ได้ใช้เทคนิคการป้อนน้ำเสียแบบเติมเข้า - ถ่ายออก (fill and draw) มาใช้ในการควบคุมปัญหาตะกอนไม่จมตัวในระบบคลองวนเวียน (oxidation ditches) พบว่าใช้ได้ผลดี

Chudoba พ.ศ. 2516 [18] ได้ทำการทดลองแก้ปัญหาตะกอนไม่จมตัวโดยถังคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ (selector) โดยทำเป็นถังเติมอากาศย่อย ๆ หลาย ๆ ถัง ซึ่งการไหลในถังเติมอากาศเป็นแบบไหลตามแนวยาว ดังรูปที่ 2.19 โดยทดลองที่ช่วงอัตราการบำบัดต่ำ (low sludge loading) และพบว่าสามารถแก้ปัญหาตะกอนไม่จมตัวได้ดี



รูปที่ 2.19 เครื่องมือทดลองของ Chudoba [18]

Heide . B.A and Pasveer ปี พ.ศ. 2517 [28] ได้สังเกตุพบว่าแม้ว่าโรงบำบัดน้ำเสียที่ใช้กระบวนการเติมเข้า - ถ่ายออก (fill and draw) ก็สามารถเกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัวได้เช่นกันถ้าระยะเวลาในการป้อนน้ำเสียนานเกินไป และได้สรุปว่าสภาวะเช่นนี้มีผลให้ภาระบรรทุกสารอาหารคาร์บอนต่ำ (low carbonaceous loading) เหมือนกับกระบวนการป้อนน้ำเสียแบบผสมกันทั่วถึง (completely mixed)

ในปี พ.ศ. 2517 ได้มีผู้ศึกษาเพิ่มเติม [16,22] พบว่าถังคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ไม่สามารถใช้งานได้ผลถ้าหากมีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง ๆ (ประมาณ 0.3 Kg BOD/Kg MLSS-day)

Houtmeyer ปี พ.ศ. 2523 [23] ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของการป้อนน้ำเสียแบบเป็นช่วง ๆ (intermittently fed) ที่มีต่อการจมตัวของตะกอนเร่ง โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ชนิดต่าง ๆ เช่น glucose อย่างเดียว , glucose + nutrient broth , starch เป็นต้น จากการทดลองพบว่าการป้อนน้ำเสียแบบเป็นช่วง ๆ สามารถควบคุมปัญหาตะกอนไม่จมตัวอย่างได้ผล ในขณะที่การทดลองป้อนน้ำเสียแบบผสมกันทั่วถึงอย่างต่อเนื่องเกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัวอยู่เสมอ ๆ

ในปี พ.ศ. 2525 สุรไชย [30] ได้ทำการศึกษาการสลับป้อนน้ำเสียเข้าถังเติมอากาศสองถังและหกถัง โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์เป็นสารอาหารซึ่งมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบหลักและควบคุมอายุตะกอน 20 วัน จากการทดลองพบว่าการสลับป้อนน้ำเสียเข้าถังเติมอากาศสองถังไม่สามารถแก้ปัญหาตะกอนไม่จมตัว แม้จะใช้ช่วงเวลาสลับป้อนน้ำเสียเป็น 30 นาที 1 ชั่วโมง

และ 2 ชั่วโมงก็ตาม ส่วนการสลับป้อนน้ำเสียเข้าถังเติมอากาศหกถังนั้นสามารถป้องกันและแก้ไขปัญหาตะกอนไม่จมตัวได้ ในขณะที่การป้อนน้ำเสียแบบผสมกันทั่วถึงถังเดียวเกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัว