บทที่ 2

หลักการ ทฤษฎีและรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำทิ้งโรงงานเบียร์(Brewery Waste)

น้ำทิ้งจากขบวนการผลิตของบริษัทบุญรอดบริวเวอรี่ จำกัด สามารถแยกตามแหล่งกำเนิดได้ดังนี้(4)

2.1.1 น้ำจากช่วงการเตรียมน้ำหวาน น้ำทิ้งนี้มาจากการล้างหม้อผสม หม้อต้ม เครื่องทำความเย็น จะประกอบด้วยน้ำตาลเดกซทริน มอลโตส แป้ง และกากเมล็ดพืชเล็กน้อย ทำให้มีค่า COD ประมาณ 3000 ถึง 4000 มก./ล. pH ประมาณ 4.0 จะไหลมาเป็นช่วงๆห่างกันประมาณ 4 ชม.

2.1.2 น้ำล้างถังหมัก ประกอบด้วยอัลกอฮอล์และโปรตีนจากยีสต์ มีทิ้งกลางวันและกลางคืนแต่มีปริมาณน้อย ความเข้มข้น COD ประมาณ 5000 มก./ล.

2.1.3 น้ำล้างเครื่องกรองเบียร์และถังเก็บ ประกอบด้วยอัลกอฮอล์และสารกรองเบียร์ มี COD ประมาณ 10000 มก./ล. จะมีเฉพาะช่วงเย็นและหยุดในวันเสาร์อาทิตย์และวันหยุดอื่นๆ

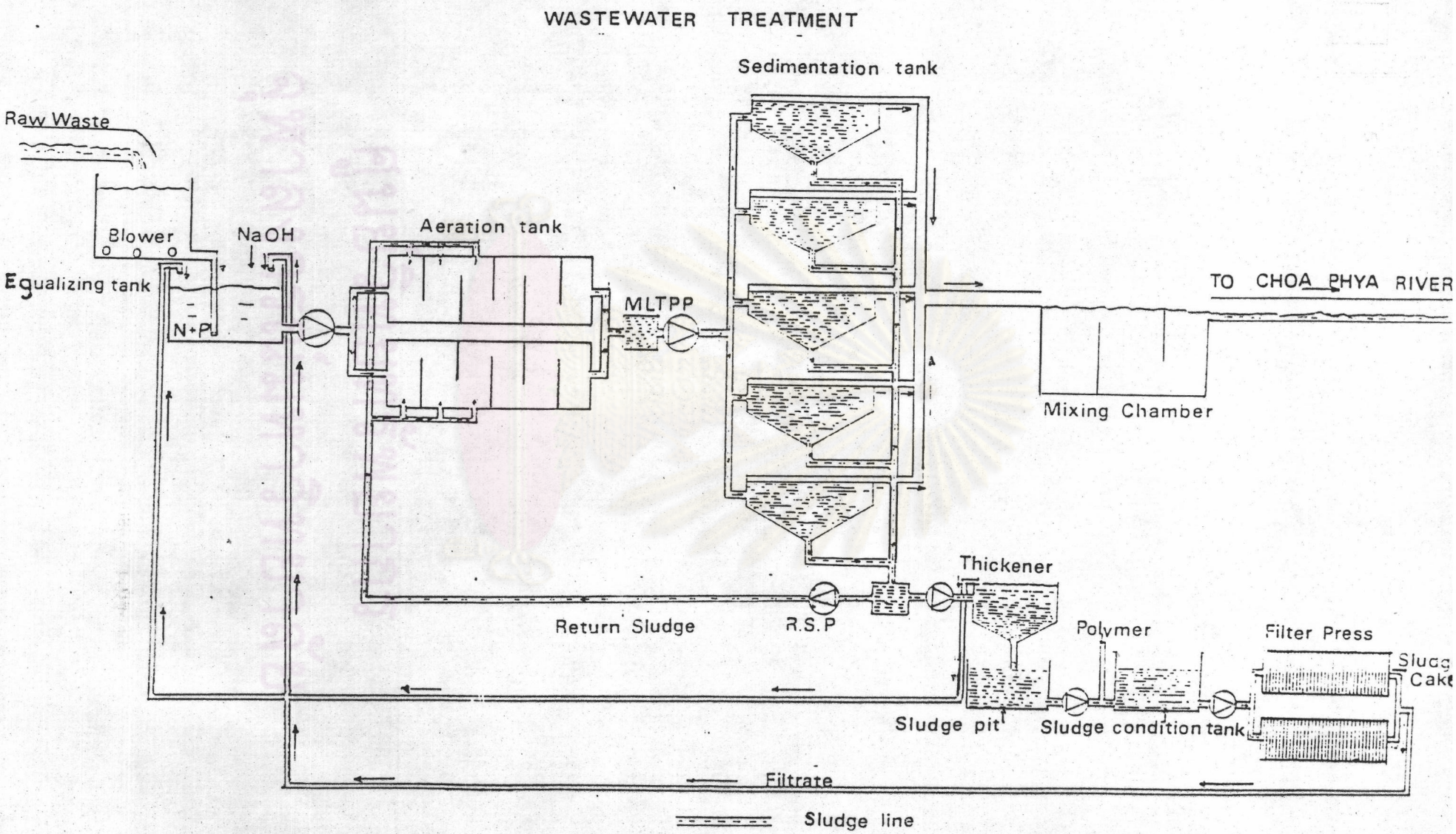
2.1.4 น้ำล้างขวดและน้ำจากการพาสเจอร์ไรซ์ น้ำจากการล้างขวดคิดเป็น 80% ของน้ำทิ้งทั้งหมด มีเฉพาะเวลากลางวันที่มีการบรรจุขวด ความเข้มข้นของ COD ประมาณ 80 มก./ล. pH ประมาณ 11.0

2.1.5 น้ำจากการล้างทำความสะอาดโรงงานและที่อื่นๆ มีปริมาณน้อย และจะมีมากตอนหยุดเครื่องจักรทำความสะอาด

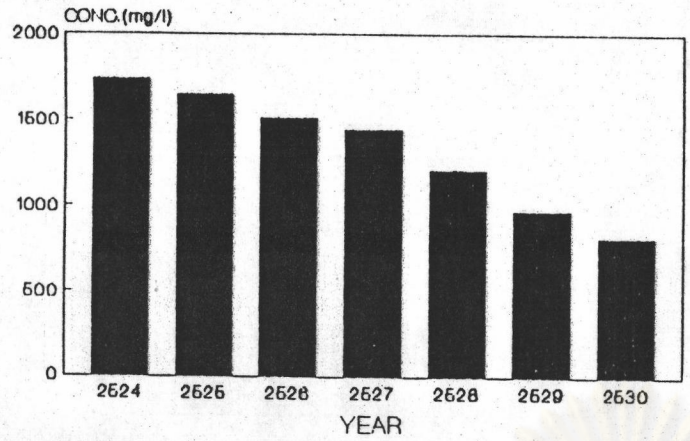
เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าน้ำทิ้งโรงงานนี้มีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบมากและไม่มีสารพิษ ค่า BOD_5:COD ของน้ำทิ้งเข้าประมาณ 0.7 และมีสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลชีพเช่น ไนโตรเจนขาดประมาณ 50 % ส่วนฟอสฟอรัสมีเพียงพอ คุณลักษณะต่างๆของน้ำทิ้ง(waste characteristics)โรงงานนี้แสดงดังรูปที่ 2.2

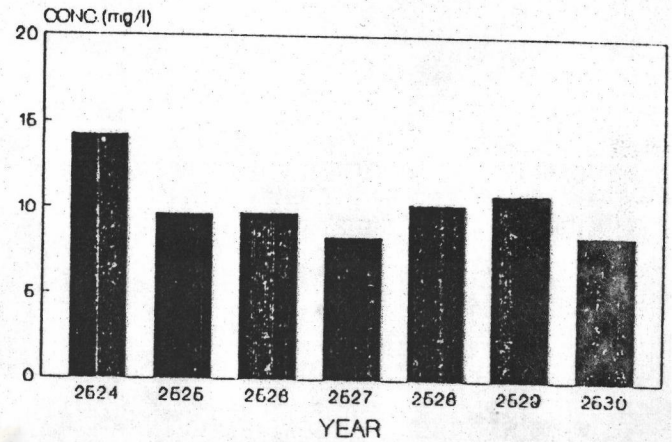
2.2 ระบบแอคทิเวเตดสลัดจ์(Activated Sludge Process)

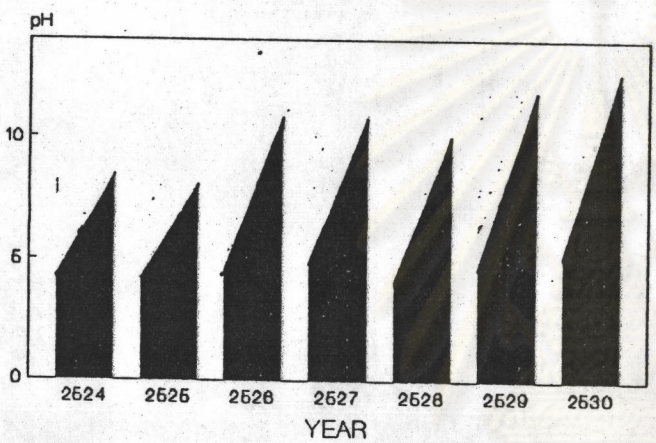
ระบบแอคทิเวเตดสลัดจ์เป็นระบบบำบัดน้ำทิ้งทางชีวเคมีแบบใช้ออกซิเจนและจุลชีพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ซึ่งอยู่ในรูปสารละลายและคอลลอยด์ (colloid) จุลชีพจะนำพลังงานที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์มาใช้ในการเจริญ

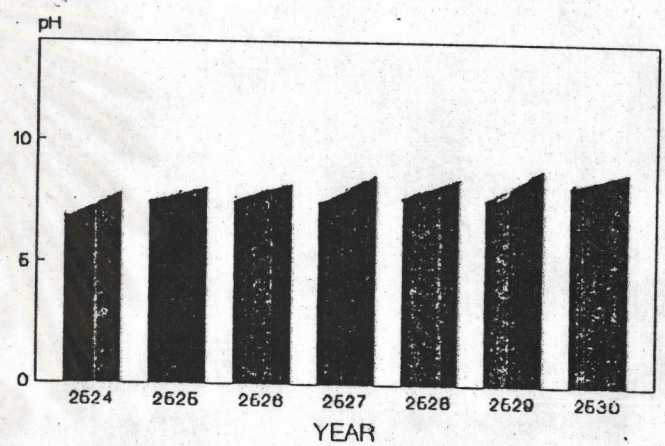


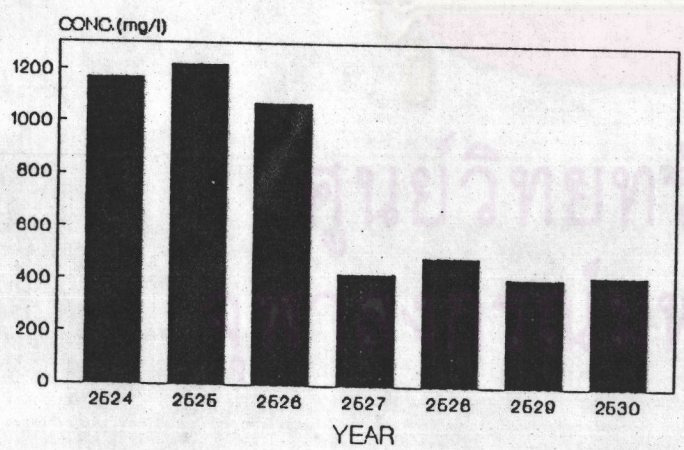
รูปที่ 2.1 ผังการไหล(flow chart)ของระบบบำบัดน้ำทิ้งของบริษัทบุญรอดบริวเวอรี่จำกัด (5)

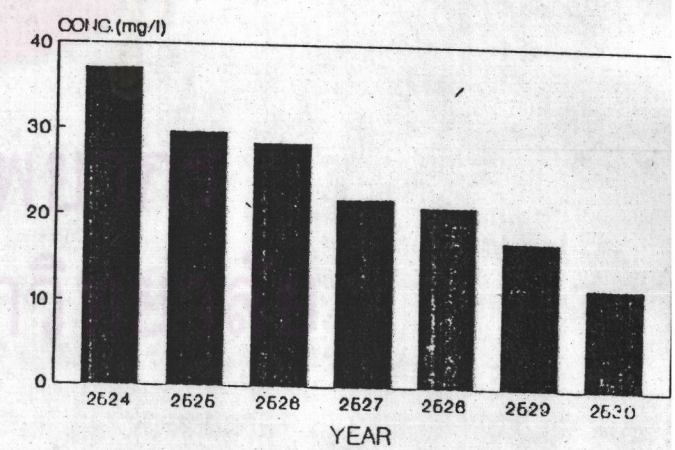






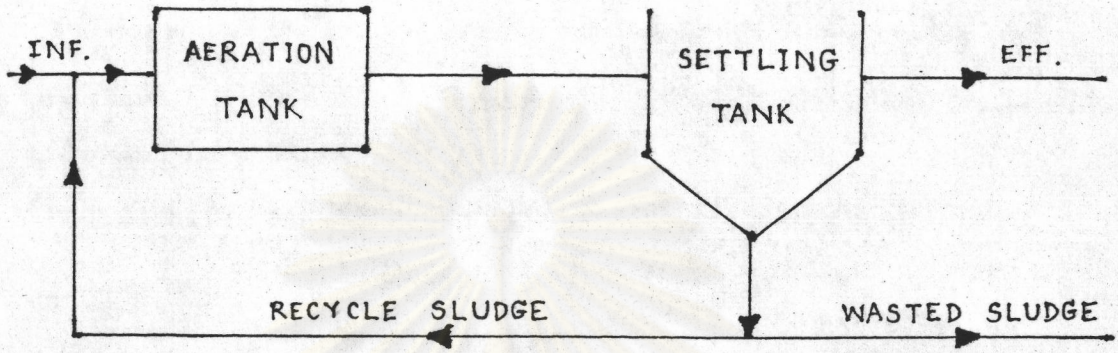






รูปที่ 2.2 คุณลักษณะต่างๆของน้ำทิ้งบริษัทบุญรอดบริวเวอรี่ จำกัด (5)

เติบโตจนมีปริมาณมากขึ้น และรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน(flocculation)เรียกว่า แอคทิเวเตดสลัดจ์(activated sludge) หรือตะกอนจุลชีพ(biological floc)



รูปที่ 2.3 ระบบแอคทิเวเตดสลัดจ์แบบธรรมดา (6)

ระบบแอคทิเวเตดสลัดจ์โดยทั่วไปมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ

2.2.1 ถังเติมอากาศ(aeration tank) หรือถังปฏิกิริยา(reactor)

เป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอาหารในน้ำทิ้ง มีการควบคุมสภาวะให้เหมาะสมกับการทำงาน(activity)และการเจริญเติบโตของจุลชีพในระบบ เงื่อนไขสำคัญที่จะต้องควบคุมได้แก่ อุณหภูมิ pH สัดส่วนของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลชีพ(เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) สัดส่วนปริมาณอาหารต่อปริมาณจุลชีพ(F/M) ปริมาณออกซิเจนละลาย(dissolved oxygen) อายุตะกอน(solid retention time หรือ mean cell residence time) ระดับความแรงของการผสม(turbulence level) เป็นต้น (7,8,9) การเปลี่ยนแปลงสภาวะใดๆจะมีผลต่อการทำงานของจุลชีพในระบบมาก

2.2.2 ถังตกตะกอน(sedimentation tank)

เป็นส่วนที่ใช้แยกจุลชีพออกจากน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว เพื่อให้น้ำที่ออกจากระบบมีคุณภาพได้มาตรฐาน และเก็บกักจุลชีพไว้ในระบบสำหรับเวียนกลับมายังถังเติม-

อากาศเพื่อทำการบำบัดน้ำทิ้งที่เข้ามาใหม่ ถังตกตะกอนจะทำงานได้ตามวัตถุประสงค์จำเป็นต้องมีการควบคุมเงื่อนไขต่างๆเช่น อัตราน้ำล้น(overflow rate) เวลากักน้ำ (detention time) อัตราการรับมวลสารแข็ง(solid loading) อัตราการเวียนตะกอนกลับ(recycle rate) และความสูงของชั้นตะกอน(sludge blanket height) เป็นต้น(10)

ระบบแอคทิเวเตดสลัดจ์มีรูปแบบถังปฏิกิริยาแตกต่างกันหลายแบบ แต่จะมีลักษณะร่วม 4 อย่างคือ

- ใช้จุลชีพที่จับตัวเป็น floc เป็นตัวทำลายสารอินทรีย์
- ใช้ถังตกตะกอนเป็นตัวแยกจุลชีพออกจากน้ำก่อนระบายน้ำทิ้ง
- มีการสูบตะกอนหมุนเวียนจากก้นถังตกตะกอนกลับคืนมายังถังเติมอากาศ
- มีอายุตะกอนเป็นตัวกำหนดการทำงานของระบบ

Process		Loading		Sludge Age, θ_c (days)	Residence Time, θ (hr)	Removal Efficiency (%)	Reactor Solids Concentration (mg MLSS/ℓ)	Recycle Ratio, R
		$\frac{kg\ BOD_5}{kg\ MLVSS\text{-}day}$	$\frac{lb\ BOD_5}{ft^3\text{-}day}$					
Conventional/completely mixed		0.2–0.6 (0.30)	0.020–0.040 (0.035)	3–14 (5)	4–8 (7)	85–95 (90)	1100–3000 (2100)	0.15–0.75 (0.30)
Step aeration		0.2–0.5 (0.30)	0.040–0.060 (0.050)	3–14 (5)	4–8 (5)	85–95 (90)	2000–4000 (3000)	0.2–0.8 (0.30)
Contact stabilization	Contact tank	0.2–0.5 (0.35)	0.07†	3–14 (5)	0.5–1.5 (1.0)	85–95 (90)	2000–4000 (2100)	0.2–1.0 (0.40)
	Stabilization tank				3–6 (5)		4000–8000 (7000)	
High-rate		0.4–1.5	0.075–0.10	0.25–3	1–3	60–75	4000–5000	1.0–5.0
Extended aeration		0.05–0.25	<0.025	> 10	15–30	85–98	3500–5000	0.7–1.5
Pure oxygen		0.4–1.0	0.15–0.25		1–3		6000–10,000	
Nitrification		10^{-3}–10^{-2} NH_3–N (3×10^{-3})		5–25 (10)		50–90 (85)		0.5
Denitrification		0.10–0.85 NO_3–N (0.15)		14		50–90		

ตารางที่ 2.1 แบบต่างๆของระบบแอคทิเวเตดสลัดจ์และพารามิเตอร์บางตัว (6)

2.3 ชีววิทยาของระบบแอคทิเวเตดสลัดจ์

ในระบบนี้มีโครงสร้างและองค์ประกอบของจุลชีพมากมายหลายชนิด อาจจำแนกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่คือ

1. จุลชีพสร้างก้อนปุย(floc forming organism)

มีบทบาทสำคัญต่อระบบแอคทิเวเตดสลัดจ์ เพราะทำให้จุลชีพจับตัวเป็นกลุ่มก้อนแยกตัวเองออกจากน้ำโดยวิธีการตกตะกอนตามธรรมชาติ เดิมเชื่อว่าพวก - Zoogleal ramigera เป็นแบคทีเรียชนิดเดียวที่สร้างก้อนปุย แต่ในปัจจุบันพบว่าจุลชีพหลายชนิดเช่นรา และโปรโตซัวก็สามารถสร้างก้อนปุยได้ จุลินทรีย์กลุ่มนี้ประกอบด้วยแบคทีเรียเป็นองค์ประกอบสำคัญ

2. จุลชีพช่วยย่อยสลาย(saprophytes organism)

รับผิดชอบต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรียแกรมลบ bacilli แต่ก็มีราและโปรโตซัวรวมอยู่ด้วย จุลชีพในกลุ่มนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ จุลชีพแบบปฐม(primary) และจุลชีพแบบทุติยะ(secondary) โดยจุลชีพแบบปฐมจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็กๆ แล้วจุลชีพทุติยะจะทำการย่อยสลายต่อจนสมบูรณ์ได้ผลสุดท้ายของปฏิกิริยาคือ น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์

3. จุลชีพทำลาย(predator organism)

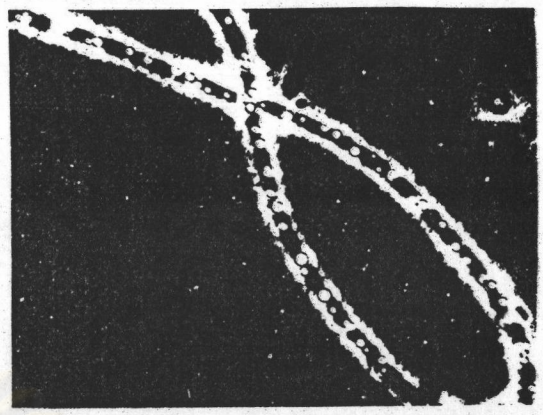
มักเป็นพวกโปรโตซัวซึ่งกินแบคทีเรียเป็นอาหาร ตัวที่สำคัญคือพวก crawling ciliates และ stalked ciliates เชื่อว่าโปรโตซัวมีบทบาทสำคัญในการตกตะกอนของจุลชีพทำให้ได้น้ำใส นอกจากนี้ยังมีพวก amoeba และ flagellates กับสัตว์หลายเซลเช่น rotifers และ round worm

4. จุลชีพก่อกวน(nuisance organism)

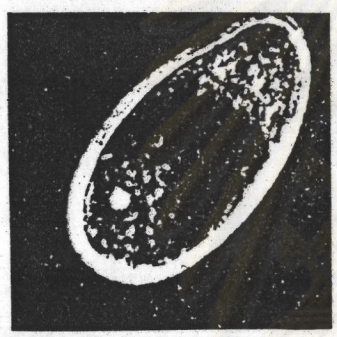
เป็นจุลชีพที่สร้างเส้นใยก่อกวนการทำงานของระบบ ขัดขวางการแยกตัวของตะกอนจุลชีพจากน้ำ ทำให้เกิดการจมไม่ลงของตะกอน จุลชีพพวกนี้ประกอบด้วยราและแบคทีเรียที่เป็นเส้นใย(filamentous bacteria)

อัตราการเจริญเติบโตของจุลชีพเหล่านี้ขึ้นกับธาตุอาหารและสารอาหารที่มีอยู่ รวมทั้งปัจจัยทางกายภาพอื่นๆเช่น อุณหภูมิ pH เป็นต้น ความแปรผันของจุลชีพที่เป็น dominant ในแต่ละช่วงเวลาแสดงดังรูปที่ 2.6

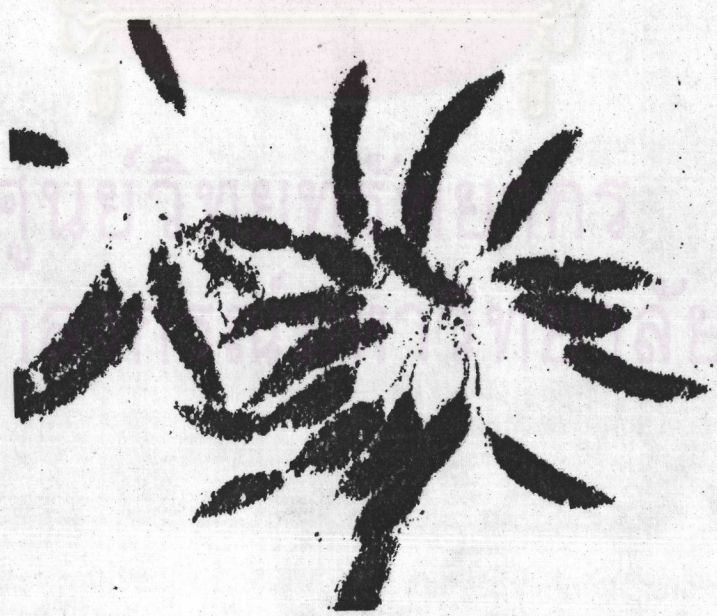
floc forming bacteria (5000x)



Beggiatoa with sulfur granules

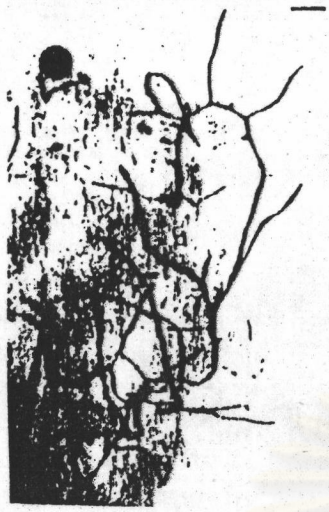


two types of protozoa(unidentified)

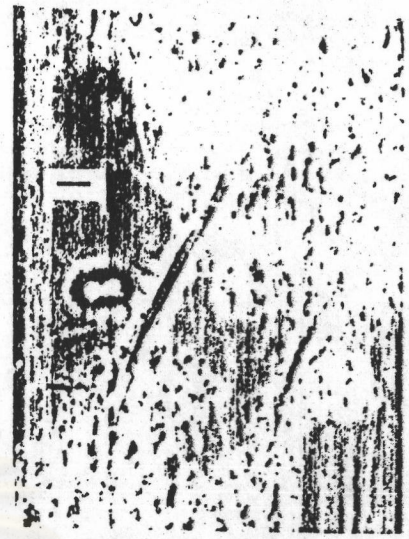


stalked bacteria Caulobacter vibrioides

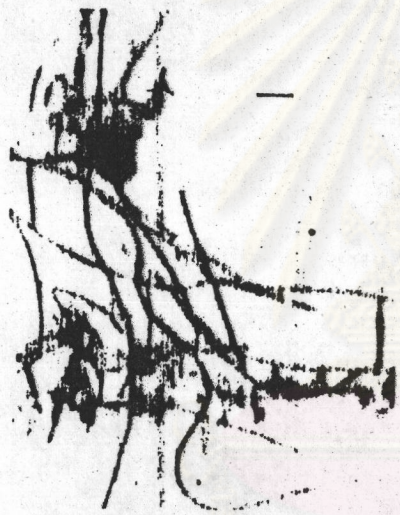
รูปที่ 2.4 จุลชีพบางชนิดในระบบแอคทิเวเตดสลัดจ์ (12)



Nocardia sp.(1000x)

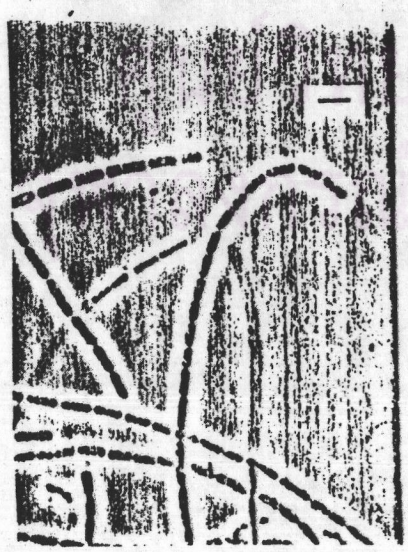


Type 0041 (1000x)

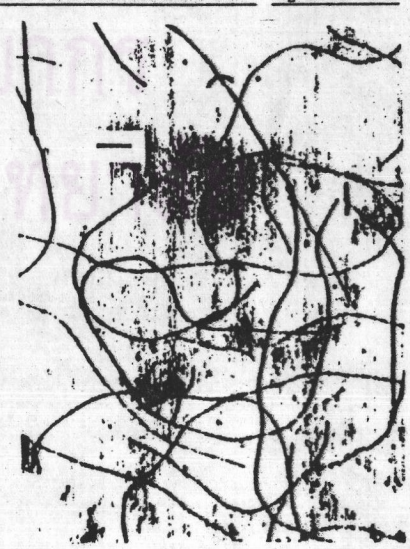


Type 0092 (1000x)

Haliscomenobacter hydrosis (1000x)

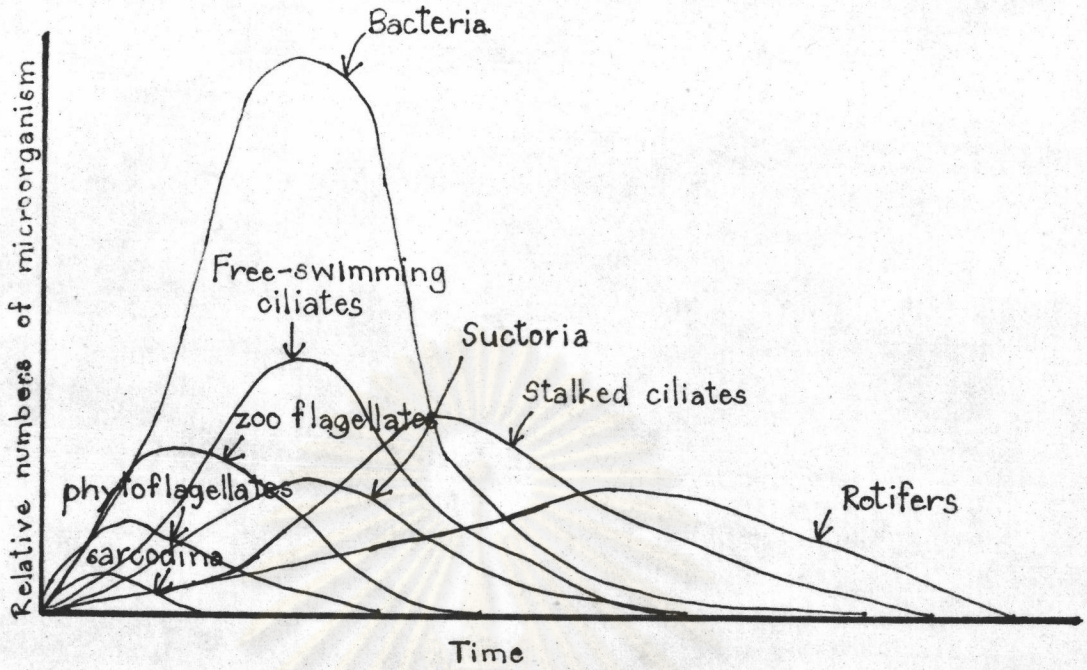


Sphaerotilus natans (1000x)



Microthrix parvicella (1000x)

รูปที่ 2.5 จุลชีพก่อกวนบางชนิดในระบบแอคทิเวเตดสลัดจ์ (13)



รูปที่ 2.6 แสดงจุลชีพที่เป็น dominant ในระบบแอคทิเวเตดสลัดจ์ในแต่ละช่วงเวลา (14)

2.4 <u>จลศาสตร์ของระบบแอคทิเวเตดสลัดจ์</u>

เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเจริญเติบโตของจุลชีพอาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ

1. การเจริญเติบโตของเซล(cell growth)และการใช้สารอาหาร (substrate utilization)

อัตราการทำปฏิกิริยาสำหรับการเจริญเติบโตของจุลชีพเป็นปฏิกิริยาอันดับปฐม(first order reaction)

$$r_{gx_v} = \mu X_v \qquad \text{----------(2.1)}$$

โดยที่ r_{gx_v} = อัตราการผลิตเซลจุลชีพที่มีชีวิต (มก./ล.-ชม.)

X_v = ความเข้มข้นของเซลจุลชีพที่มีชีวิต (มก./ล.)

μ = ตัวคงที่อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ(specific growth rate constant)($ชม.^{-1}$)

ส่วนอัตราการใช้สารอาหารหรืออัตราการเจริญเติบโตที่แท้จริง(Y)มีความสัมพันธ์อันดับปฐมกับความเข้มข้นของเซลที่มีชีวิต

$$Y = \frac{r_{gx_v}}{-r_s} \qquad \text{----------(2.2)}$$

โดยที่ $-r_s$ = อัตราการหายไปของสารอาหาร(มก./ล.-ชม.)

เมื่อรวมสมการที่(2.1)และ(2.2)เข้าด้วยกันแล้วจะได้

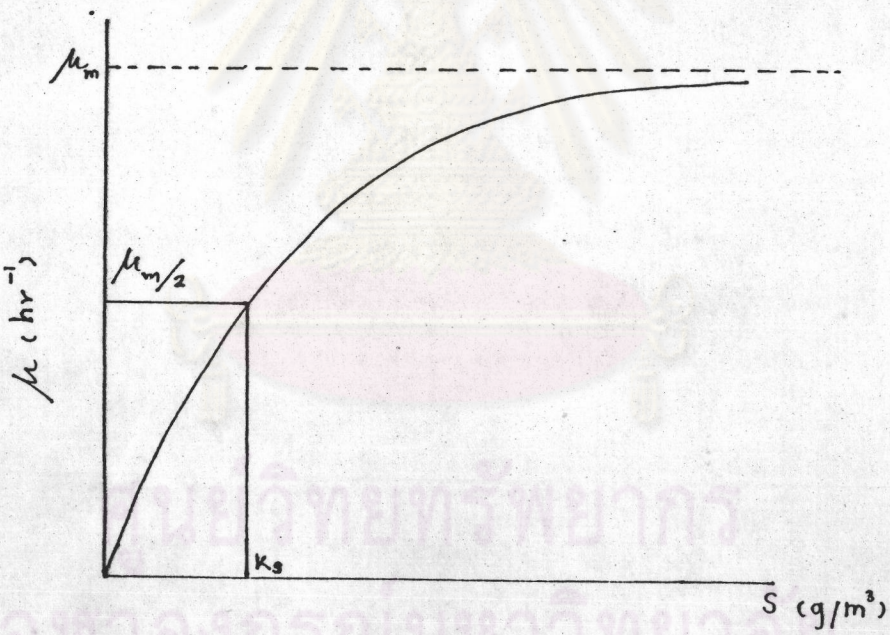
$$-r_s = \frac{r_{gx_v}}{Y_g} = \frac{\mu X_v}{Y_g} \qquad \text{------(2.3)}$$

อัตราส่วน μ/Y_g เรียกว่า อัตราการใช้สารอาหารจำเพาะ(specific rate of substrate removal,q)

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ(μ)มีความสัมพันธ์กับสารอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโต(S)ที่อยู่ในตัวกลางรอบๆดังสมการของ Monod

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \qquad \text{---------(2.4)}$$

โดย μ จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารอาหาร และจะเข้าใกล้ค่าสูงสุดค่าหนึ่ง คือ μ_m



โดยที่ K_s = ค่าคงที่การอิ่มตัว(saturation constant)หรือตัวคงที่ที่มีความเร็วครึ่งหนึ่ง(half velocity constant)

2. การสลายตัวของจุลชีพ(decay)

อาจสมมติได้ว่าเกิดขึ้นแบบอันดับที่หนึ่งโดยมีสัมประสิทธิ์คงที่ อัตราการสลายตัวขึ้นอยู่กับชนิดของเซลที่กำลังสลายตัว

$$r_{dx_v} = b_v X_v \qquad \text{----------(2.5)}$$

$$r_{dx_d} = b_d X_d \qquad \text{----------(2.6)}$$

โดยที่ r_{dx_v} & r_{dx_d} = อัตราการหายไปของเซลที่มีชีวิตและเซลที่ตายแล้ว (มก./ล.-ชม.)

b_v & b_d = ตัวคงที่อัตราการสลายตัวจำเพาะสำหรับเซลที่มีชีวิตและเซลที่ตายแล้ว (ชม.$^{-1}$)

มวลของเซลที่มีชีวิตจะหายไปจากระบบโดยถูกใช้ไปในการบำรุงรักษา (maintenance)และการล่า(predation) ส่วนมวลของเซลที่ตายแล้วจะหายไปโดยการล่าและการแตกตัว(lysis) b_d มีค่าน้อยกว่า b_v แต่ในทางปฏิบัติจะสมมติว่า $b_v=b_d=b$ และจะคงที่สำหรับ culture นั้นๆ

3. การตาย(death) ซึ่งรวมถึงเหตุการณ์ทั้งหมดที่ทำให้ตาย

อัตราการตายของเซลที่มีชีวิตเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของเซลที่มีชีวิตในตัวกลาง

$$r_{dx_v} = \gamma X_v \qquad \text{----------(2.7)}$$

โดยที่ r_{dx_v} = อัตราการตายของเซลที่มีชีวิต (มก./ล.-ชม.)

γ = อัตราการตายจำเพาะของจุลชีพ (ชม.$^{-1}$)

2.3.1 <u>ความสัมพันธ์ระหว่าง θ_c กับ μ และ S</u>

ในระบบแอคทิเวเตดสลัดจ์ที่มีการเวียนตะกอนกลับ ระยะเวลาที่เซลจุลชีพอยู่ในระบบ(mean cell residence time,θ_c) ซึ่งมีนิยามว่าคือ อัตราส่วนระหว่างมวลของเซลที่มีชีวิตในระบบกับมวลของเซลที่มีชีวิตที่หายไปต่อหน่วยเวลานั้น เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ควบคุมระบบ เพราะสามารถควบคุมให้มีค่าใดค่าหนึ่งได้โดยจัดอัตราการทิ้งตะกอน θ_c มีความสัมพันธ์กับ μ ดังสมการ

$$\mu = 1/\theta_c + \gamma + b \qquad \text{----------(2.8)}$$

จากสมการที่(2.4)อาจเขียนได้ใหม่เป็น

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

เมื่อแทนค่า μ สมการที่(2.8)ลงในสมการที่(2.9)จะได้

$$S = \frac{K_s(1/\theta_c + \gamma + b)}{\mu_m - (1/\theta_c + \gamma + b)} \qquad \text{----------(2.10)}$$

สมการนี้แสดงให้เห็นว่า θ_c มีผลทั้งกับ μ และ S

2.4.2 ยีลด์จากการสังเกต(Observed Yield)

การวัดมวลของจุลชีพสามารถวัดได้ในรูปของยีลด์ที่ได้จากการสังเกต(Y) ซึ่งคือ ปริมาณเซลจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นต่อหน่วยสารอาหารจำกัดที่ถูกกำจัดไป ค่าของ Y ขึ้นอยู่กับ θ_c ดังสมการ

$$Y = \frac{Y_m}{1 + b\theta_c} \qquad \text{----------(2.11)}$$

จากสมการนี้จะเห็นว่าเมื่อ θ_c เพิ่มขึ้นค่า Y จะลดลง เนื่องจากการสลายตัวของเซลเพิ่มขึ้น

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอนของมวลแขวนลอยในระบบแอคทิเวเตดสลัดจ์

2.5.1 พวกที่มีผลต่อการเกิดก้อนปุย(bioflocculation)ในถังเติมอากาศ

ได้แก่ อายุตะกอน ความเข้มข้นของสารแขวนลอย ระดับความแรงของการผสม และอัตราการเวียนตะกอน (16) พวกเหล่านี้จะทำให้ระบบมีปริมาณ extracellular polymer แตกต่างกัน extracellular polymer เป็นส่วนประกอบของ heteropolysaccharide(เช่น น้ำตาล น้ำตาลอะมิโน กรดยูโรนิค กรดอะมิโน) ซึ่งมาจากเยื่อชั้นนอกของเซลจุลชีพ ในปัจจุบันพบว่า polymer นี้เป็นตัวสำคัญที่ช่วยให้เซลจุลชีพมาเกาะเกี่ยวกันเกิดเป็นก้อนปุย(17,18,19) การผลิต polymer อาจถูกกระตุ้นให้เกิดได้มากขึ้นที่ออร์แกนนิคโหลดดิ้งสูงๆ อายุตะกอนมากหรือความไม่สมดุลย์ของสารอาหารเช่น มี C:N สูง(20) แต่การขาดสารอาหารไม่มีผลต่อปริมาณหรือองค์ประกอบของ polymer ที่จุลชีพสร้างแต่อย่างใด(21)

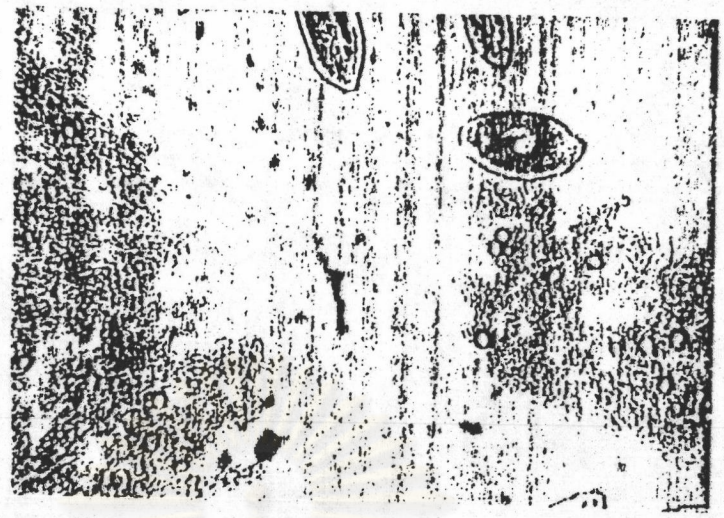
2.5.2 ลักษณะพื้นผิวของก้อนปุย

ก้อนปุยโดยทั่วไปมีผิวค่อนข้างเรียบ ขณะที่พวกตะกอนเบาทั้งที่เป็นเส้นใย (filamentous)และไม่เป็นเส้นใย(zoogleal bulking sludge) มีพื้นผิวที่หยาบกว่าและมีความดูดซึม(diffused)สูง ทำให้แรงเสียดทานระหว่างที่ตะกอนเคลื่อนที่ไปในของเหลวเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ความเร็วในการตกตะกอนลดลง(17) ลักษณะและพื้นผิวของก้อนปุยจะบอกถึงอายุของก้อนปุยนั้น โดยจะมีรูปร่างยาว(elongated) เมื่อเปลี่ยนจากเซลอิสระ(free cell)ไปเป็นก้อนปุยใหม่ๆ และเมื่อก้อนปุยมีอายุมากขึ้นจะมีรูปร่างกลมขึ้นเนื่องจากมี polymer มาเกาะ(20)

2.5.3 พวกที่มีผลต่อการตกตะกอนในถังตกตะกอน

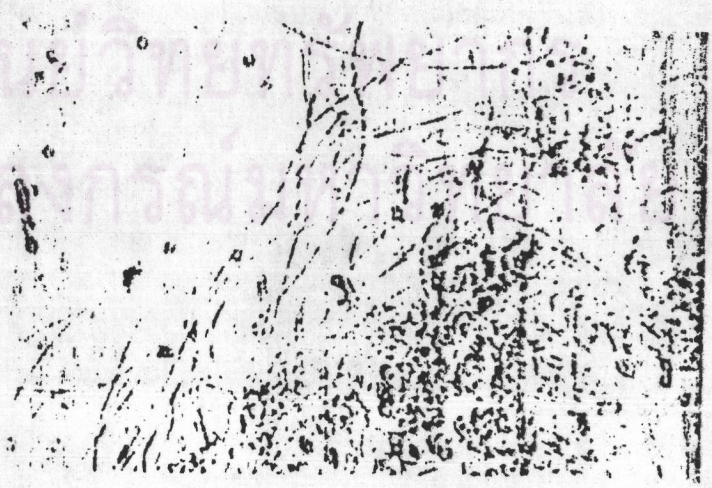
ได้แก่ อัตราน้ำล้นและเวลากักน้ำของถังตกตะกอน (16)

014490



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 2.7 ภาพถ่ายแสดงความแตกต่างของก้อนปุย (ก)ก้อนปุยปกติ (ข)ตะกอนเบาที่เกิดจากพวก zoogleal (ค)ตะกอนเบาที่เกิดจากราพวกเส้นใย (17)

2.6 การใช้จุลชีพเป็นแหล่งอาหารโปรตีน

จากลักษณะโครงสร้างของจุลชีพที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบทางเคมีในหลายๆ ส่วนของเซล เช่น โปรตีน กรดอะมิโน เป็ปไทด์ กรดนิวคลีอิค และน้ำตาลอะมิโน (ตารางที่ 2.2) จึงมีผู้คิดนำจุลชีพมาเป็นแหล่งอาหารโปรตีน สำหรับประวัติการใช้จุลชีพเป็นแหล่งอาหารโปรตีนมีมาตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 1 และ 2 เช่น ชาวเยอรมันทำสเต็กจากขี้เลื่อยที่หมักด้วยยีสต์ หรือมีการผสมยีสต์ลงในอาหารที่มีโปรตีนต่ำ เพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับทหารในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 (22) จนกระทั่งปัจจุบันจุลชีพหลายชนิดได้ถูกใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีน โดยมีแนวโน้มการผลิตจุลชีพจากของเหลือทิ้งทั้งจาก

Cell fraction	Major components
Capsule	Complex polysaccharide, polypeptides
Cell wall	Lipopolysaccharide, polypeptides, amino sugars
Cytoplasm	
Cytoplasmic membrane	Lipoprotein, RNA
Ribosomal fraction	Protein, RNA
Nuclear bodies	Protein, RNA, DNA
Mitochondria	Lipid, protein
Cell sap	Lipid, protein, polysaccharide, small organic molecules

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีในส่วนต่างๆของจุลชีพ (1)

โรงงานอุตสาหกรรมและจากการเกษตรมากขึ้น สุธาทิพย์(23)ได้รวบรวมจุลชีพชนิดต่างๆ ที่ใช้เป็นแหล่งอาหารโปนตีนไว้ดังนี้

1. สาหร่าย เป็น autotrophic microorganism ที่มีโปรตีนในเซลสูง ประมาณ 55 % มีวิตะมินซีและบีรวมสูง สามารถเพาะเลี้ยงได้ทุกฤดูกาล ข้อเสียคือ มีอัตราการเจริญต่ำกว่าจุลชีพกลุ่มอื่น สาหร่ายที่ได้รับความสนใจได้แก่ สาหร่ายเซลเดียว เช่น Chlorella,Scenedesmous และ Spiruline

2. รา ราหลายชนิดใช้เป็นอาหารและมีบทบาทในอาหารหมักมานาน ข้อดีของราคือ มีคุณค่าทางอาหารพอๆกับยีสต์ จัดเป็นจุลชีพที่มีวิตะมินบีสูงและมีปริมาณโปรตีน 30-60 % แต่โปรตีนนี้มีปริมาณ methionine และ tryptophan ต่ำ ปัญหาในการเลี้ยงราคือ ในสภาพ submerged cultivation เส้นใยจะจับกันเป็นกลุ่มก้อน(pellet) จึงเกิดปัญหาในการให้ออกซิเจนแก่เซล เชื้อราที่มีแนวโน้มใช้เป็นแหล่งอาหารเสริมโปรตีนในสัตว์เลี้ยงได้แก่ Aspergillus niger,Trichoderma viride และ Fusarium sp.

3. ยีสต์ ยีสต์เป็นจุลชีพที่เหมาะสมในการเป็นแหล่งอาหารโปรตีนเพราะมี

ปริมาณโปรตีนสูงถึง 44-55 % ของน้ำหนักแห้ง แต่ข้อเสียของยีสต์คือ มีปริมาณกรด-นิวคลีอิคสูง(ประมาณ 12 %) ทำให้ผู้บริโภคเกิดโรคเกี่ยวกับไตและโรคเก๊าท์(gout)

4. <u>แบคทีเรีย</u> แบคทีเรียมีอัตราการเจริญสูงกว่าจุลชีพกลุ่มอื่นๆและมีปริมาณโปรตีนสูง จึงทำให้มีผู้สนใจศึกษาการใช้แบคทีเรียเป็นแหล่งโปรตีนกันมาก โปรตีนในเซลของแบคทีเรียแต่ละชนิดจะมีปริมาณแตกต่างกันตั้งแต่ 47-87 % ในขณะที่โปรตีนจากสาหร่าย รา และยีสต์มีประมาณ 40% 48% และ 50% ตามลำดับ นอกจากนี้แบคทีเรียยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็น(essential amino)คือ methionine trytophan และ cystein มากกว่าในราและยีสต์ และง่ายต่อการปรับปรุงสายพันธุ์เพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรม แต่มีข้อเสียคือ เซลมีขนาดเล็กทำให้เก็บเกี่ยวผลยาก

2.7 <u>ศักยภาพ(potential)ของการนำตะกอนแอคทิเวเตดสลัดจ์มาใช้เป็นแหล่งโปรตีน</u>

มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาหาวิธีการนำตะกอนแอคทิเวเตดสลัดจ์ซึ่งมีแบคทีเรียเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่มาใช้เป็นแหล่งโปรตีน เช่น

Hurwitz(1)ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนและวิตะมินในตะกอน - แอคทิเวเตดสลัดจ์(ตารางที่ 2.3) เขาสรุปว่าตะกอนแอคทิเวเตดสลัดจ์เป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพสูง แม้ว่าจะมีกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่น้อยก็ตาม ส่วน - Stafford และคณะ(17)ก็ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของตะกอนแอคทิเวเตดสลัดจ์จากโรงบำบัดน้ำทิ้งหลายแห่ง พบว่ามีโปรตีนถึง 13 % นอกจากนี้ยังมีวิตะมิน B_1 B_2 และ B_{12} อีกด้วย(ตารางที่ 2.4)

Amino acids, percent (dry basis)		Vitamins μg/g (dry basis)	
Totoal protein (N X 6.25)	30-35 percent		μ g/g
Arginine	1.04-1.26	Riboflavin (B_2)	12.7-20.0
Cystine	0.18	Cobalamine (B_{12})	2.4-4.0
Histidine	0.41-0.50	Pantothenic acid	4.0
Isoleusine	1.91-2.20	Niacine	76.4
Leusine	1.58-2.03	Coline	212.
Lysine	0.92-1.33	Pyridorine	1.2
Methionine	0.45-0.65	Biotin	0.7
Phenylalanine	1.20-2.00	Inositol	604.
Threonine	1.15-2.20		
Tryptophan	0.22-0.34		
Valine	1.18-2.77		
Tyrosine	0.70		
Glycine	1.55-1.71		
Glutamic acid	2.89		

ตารางที่ 2.3 ปริมาณกรดอะมิโนและวิตะมินในตะกอนแอคทิเวเตดสลัดจ์ (1)

1.	Lipid (%)	16.0	±	5.0
2.	Phenolic (%)	9.16	±	5.5
3.	Protein (%)	12.99	±	4.01
4.	Carbohydrate (%)			
	(a) TCA extract (%)	0.64		0.19
	(b) NaOH extract (%)	3.5	±	3.3
5.	Ash			
	(a) initial (%)	27.1	±	8.7
	(b) final (%)	18.5	±	7.2
6.	Insoluble combustible residue (%)	28.4	±	3.1
7.	DNA (%)	1.4		
8.	RNA (%)	1%		
9.	Vitamins (mg/g)			
	(a) Thiamin	0.47	±	0.25
	(b) Riboflavin	2.4	±	0.25
	(c) B_{12}	4.6	±	1.6
10.	Saponification value	70.3	±	49.9

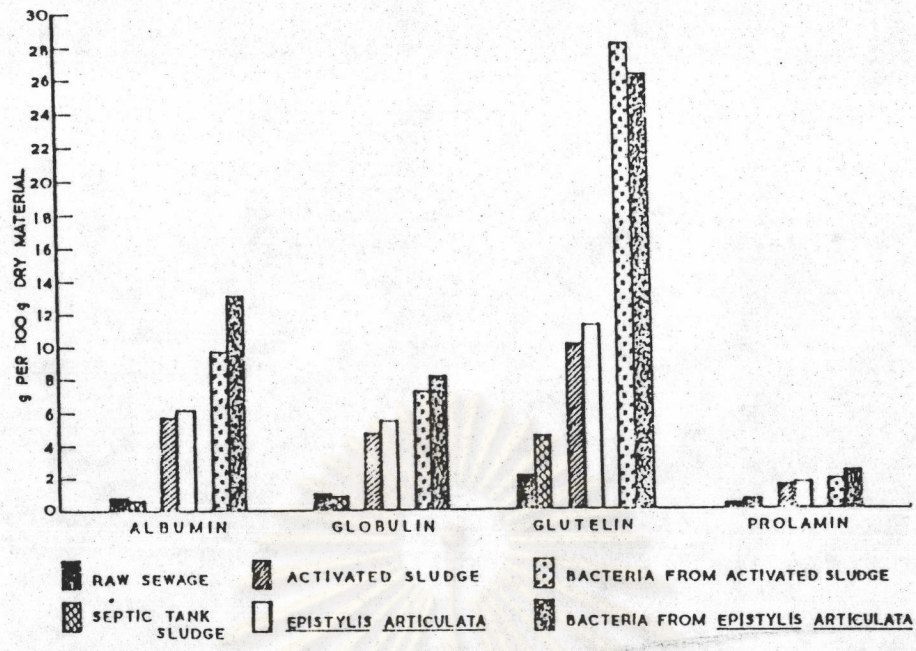
ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของตะกอนแอคทิเวเตดสลัดจ์จากโรงบำบัดน้ำทิ้ง (24)

Pillai และคณะ(2)ทำการวิจัยเปรียบเทียบองค์ประกอบในตะกอนแอคทิเวเตด-สลัดจ์กับอาหารปลาและรำข้าวสาลี ปรากฏว่าตะกอนแอคทิเวเตดสลัดจ์มีคุณภาพไม่ด้อยไปกว่าอาหารปลาและดีกว่ารำข้าวสาลี โดยเฉพาะปริมาณโปรตีนมีถึง 37.5% ขณะที่อาหารปลามี 55.7% และรำข้าวสาลีมี 16.2 %(ตารางที่ 2.5) นอกจากนี้ยังมีวิตะมิน B_{12} ซึ่งอาหารสัตว์ทั้งสองชนิดไม่มี ต่อมา Pillai ได้ร่วมงานกับ Sridhar(25)ทำการทดลองหาปริมาณโปรตีนใน raw wastewater septic tank sludge ตะกอนแอทิเวเตดสลัดจ์ แบคทีเรียที่แยกมาจากแอคทิเวเตดสลัดจ์ โปรโตซัวที่เป็น dominant ในแอคทิเวเตดสลัดจ์ และแบคทีเรียที่แยกมาจากโปรโตซัวนั้น ได้ปริมาณโปรตีนดังนี้ 11% 17% 43% 73% 60% และ 78% ตามลำดับ นอกจากนี้พวกเขายังได้ใช้สารเคมีและวิธีการต่างๆในการสกัดโปรตีนในตัวอย่างดังกล่าว เป็นที่น่าสังเกตว่าโปรตีนจากตัวแบคทีเรียมีปริมาณมากที่สุด

	Activated Sludge	*Fish Meal*	*Wheat Bran*
Organic Matter	67·8	73·7	94·5
Nitrogen	6·0	—	—
Crude Protein	37·5	55·7	16·2
Fats	6·0	8·6	3·5
Crude Fibre	9·8	1·2	11·4
Inorganic Matter	32·2	26·4	5·5
Calcium	1·5	8·2	0·1
Phosphorus	1·3	7·2	1·1
Vitamin B_{12}	73·5*	—	—

*μg/100 g.

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของตะกอนแอคทิเวเตดสลัดจ์เปรียบเทียบกับอาหารปลา และรำข้าวสาลี (2)



รูปที่ 2.8 โปรตีนบางส่วนในน้ำทิ้ง ตะกอนและจุลชีพที่เกี่ยวข้อง (25)

สำหรับความแปรผันของปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนในจุลชีพนั้น Anderson และ Jackson(26)กับ Tennenbaum(1)รายงานว่า ขึ้นอยู่กับจุลชีพในระบบและสภาพแวดล้อมที่มันอยู่ ซึ่งเป็นตัวเลือกว่าจุลชีพชนิดใดจะเป็น dominant ในระบบ นอกจากนี้ Anderson และ Jackson ยังได้รายงานปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นในจุลชีพชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Organism	Per Cent N	Argi-nine	Histi-dine	Isoleu-cine	Leucine	Lysine	Methio-nine	Phenylala-nine	Threo-nine	Trypto-phane	Valine	Reference
Escherichia coli (2201)	—*	6.5	0.5	5.5	6.5	3.5	1.0	1.2	4.5	0.7	3.5	Mondolfo and Hounie (1951)
E. coli (2209)	—	5.5	0.6	5.5	5.0	6.0	0.6	1.8	4.0	0.5	6.0	*Ibid.*
E. coli (2212)	—	4.5	0.8	3.7	4.5	3.7	0.4	1.8	2.7	0.5	3.0	*Ibid.*
Eberthella typhosa (*Salmonella typhosa*)	—	6.8	0.9	3.0	4.5	7.2	0.5	2.7	4.3	0.5	3.3	*Ibid.*
Salmonella paratyphi A	—	7.5	0.8	4.5	5.2	4.5	0.5	2.7	3.5	0.5	4.5	*Ibid.*
S. schottmuelleri	—	4.0	0.9	3.7	3.0	7.2	0.5	3.3	3.2	0.5	3.3	*Ibid.*
S. enteriditis	—	4.5	0.9	3.7	4.2	4.5	0.5	2.8	3.2	0.4	3.3	*Ibid.*
Shigella dysenteriae	—	7.5	1.0	3.0	4.7	4.1	0.5	2.6	2.7	0.5	3.6	*Ibid.*
Pseudomonas aeruginosa	—	4.6	0.9	4.0	4.5	6.3	0.48	3.2	2.2	0.5	3.6	*Ibid.*
Staphylococcus aureus 351	—	2.6	0.9	4.5	4.0	6.5	0.8	2.0	3.2	—	3.2	*Ibid.*
S. aureus 352	—	3.7	0.65	2.3	4.5	3.4	0.5	3.0	3.2	0.5	2.8	*Ibid.*
Streptococcus hemolyticus 51 (*S. pyogenes*)	—	6.0	1.2	2.8	4.5	6	0.4	2.6	3.8	0.5	3	*Ibid.*
S. hemolyticus 129 (*S. pyogenes*)	—	—	—	4.8	4	—	0.6	—	4.5	0.4	4	*Ibid.*
Gaffkya tetragena	—	—	—	5.5	5.5	—	0.5	—	2.75	0.4	3.6	*Ibid.*
Bacillus megaterium	6.3	3.7	1.5	4.6	5.7	6.0	1.3	3.1	3.7	—	5.5	Garibaldi *et al.* (1953)
Lactobacillus arabinosus (*L. plantarum*)	10.08	3.3	1.7	5.6	5.9	5.2	1.1	2.8	3.8	0.5	5.2	Camien *et al.* (1945)
L. casei	7.49	3.6	1.9	6.2	6.8	7.7	1.1	3.5	4.7	0.4	5.8	*Ibid.*
L. pentosus (*L. plantarum*)	9.74	3.1	1.5	4.9	5.1	4.6	1.0	2.7	3.3	0.3	4.8	*Ibid.*
L. fermenti	13.98	4.8	2.4	7.0	7.5	6.9	1.3	4.1	4.9	0.6	6.8	*Ibid.*
Mycobacterium phlei	10.64	6.83	1.72	5.8	6.6	3.66	1.27	3.39	4.36	0.15	5.8	Boniece (1950)
M. avium	9.35	6.82	1.80	6.85	7.01	4.84	1.40	3.43	4.84	0.47	6.43	*Ibid.*
M. tuberculosis	10.06	7.4	0.5	—	10.5	6.2	11.2	5.8	4.9	2.5	6.4	Eguchi (1951)
M. smegmatis	11.95	7.54	1.87	4.35	8.29	4.47	1.49	2.99	—	—	6.59	Ginsberg *et al.* (1956)
M. ranae	11.83	7.13	1.87	4.43	8.26	4.56	1.54	2.92	—	—	6.30	*Ibid.*
M. tuberculosis var. *bovis* (*M. bovis.*)	8.04	7.66	1.85	4.46	8.78	3.64	1.55	2.75	—	—	7.04	*Ibid.*
M. tuberculosis var. *hominis* (*M. tuberculosis*)	11.81	7.70	2.06	4.39	8.85	3.96	1.62	3.24	—	—	6.67	*Ibid.*
Corynebacterium diphtheriae	12.9	5.0	2.4	6.0	6.0	4.2	5	5.6	1.3	—	9.3	Work (1949)
Nitrosomonas sp	—	4.0	1.8	6	4.5	6.7	3.4	7.5	5.5	—	9.3	Hofman (1953)
"Brewers' yeast" (debittered)	—	3.1	3.3	6.0	7.3	7.1	2.7	4.5	5.5	1.2	5.3	Block and Bolling (1945a)
"Brewers' yeast"	7.32	13.1	3.0	6.0	7.8	7.4	2.34	3.59	5.07	1.63	6.4	Edwards *et al.* (1946)
"Brewers' yeast"	8.40	5.0	4.1	4.5	7.5	6.7	1.4	1.9	8.2	—	9.4	Lindan and Work (1951)
"Torula yeast"	7.58	8.6	2.8	5.5	8.3	6.84	2.62	4.55	4.97	0.83	5.9	Edwards *et al.* (1946)
Torulopsis utilis	8.3	5.0	1.4	4.9	6.1	6.0	0.75	3.5	4.6	—	5.4	Garibaldi *et al.* (1953)
"Wood sugar yeast"	8.5	4.9	1.9	—	—	—	—	—	—	1.0	—	Dirr and Soden (1911)
"Bakers' yeast"	7.35	5.0	4.1	4.5	7.5	6.7	1.4	5.6	5.5	—	9.4	Lindan and Work (1951)
"Yeast"	7.3	5.5	1.3	—	—	8.5	—	—	—	1.0	—	Kraut and Schlottmann (1937)
Saccharomyces carlsbergensis	—	5.0	2.0	—	—	10.1	—	—	—	—	—	Freeland and Gale (1947)
Aspergillus flavus	3.1	4.9	—	5.1	6.5	23.5	—	2.8	4.2	—	4.7	Pillai and Srinivasan (1956)
Chlorella pyrenoidosa	6.93	6.07	2.0	5.31	8.71	5.13	0.48	4.07	4.32	1.22	5.72	Schieler *et al.* (1953)
C. vulgaris	6.54	3.82	1.42	5.93	8.37	2.23	0.96	11.58	2.26	1.11	5.29	*Ibid.*
C. vulgaris	3.8	8.3	2.8	4.8	8.4	7.5	2.2	4.3	4.8	2.3	7.3	Fowden (1952b)
C. vulgaris	4.3	8.1	1.9	5.2	9.1	8.6	2.4	5.3	4.0	2.5	7.4	Fowden (1952a)
Gloeotrichia sp	—	1.3	0.9	—	—	1.7	—	—	—	0.35	—	Mazur and Clarke (1942)
Macrocystis sp	—	4.4	0.9	—	—	1.6	—	—	—	0.6	—	*Ibid.*
Lessoniopsis sp	—	1.6	0.7	—	—	6.5	—	—	—	2.2	—	*Ibid.*
Fucus sp	—	0	0.6	—	—	6.1	—	—	—	0.6	—	*Ibid.*
Cystoseira sp	—	0	2.5	—	—	3.4	—	—	—	0.9	—	*Ibid.*
Egregria sp	—	0	2.4	—	—	0.3	—	—	—	1.0	—	*Ibid.*
Caulerpa sp	—	3.0	1.8	—	—	0	—	—	—	2.2	—	*Ibid.*
Codium sp	—	3.6	2.6	—	—	4.5	—	—	—	0.5	—	*Ibid.*
Phormidium sp	2.65	4.6	2.2	—	3.1	0	—	2.1	—	0.2	8.9	Mazur and Clarke (1938)
Ulva sp	2.04	3.8	0.7	—	7.8	0	—	4.3	—	0.4	7.0	*Ibid.*
Laminaria sp	0.77	8.0	0.9	—	3.8	0	—	1.9	—	1.3	7.0	*Ibid.*
Sargassum sp	1.38	4.0	1.9	—	0.45	4.5	—	0.6	—	1.7	8.6	*Ibid.*
Chondrus sp	1.22	5.1	1.1	—	7.9	3.4	—	2.8	—	1.9	7.6	*Ibid.*

* No data reported.

ตารางที่ 2.6 เปอร์เซนต์โปรตีนของกรดอะมิโนที่จำเป็น(essential amino acid)ในจุลชีพชนิดต่างๆ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย